

Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit

**Empirische Befunde und konzeptionelle Überlegungen
unter besonderer Berücksichtigung
der komplexen Domäne Ökologie
und kontextbasierten Lernens
in der Orientierungsstufe der SEK I**

Von der Pädagogischen Hochschule Freiburg

zur Erlangung des Grades

eines Doktors der Philosophie (Dr. phil.)

genehmigte Dissertation

von

Frank Rösch

aus

Stuttgart

Freiburg | 2017

Promotionsfach: Biologie und ihre Didaktik

Erstgutachter: Prof. Dr. habil. Werner Rieß

Zweitgutachter: Prof. Dr. Josef Nerb

Tag der mündlichen Prüfung: 29.01.2018

Prolog

„Reisen ist die schönste Art zu lernen.“

(Stefan Schirmer¹)

Wozu Klassenzimmern und naturwissenschaftlichen Fachräumen in der Schule den Rücken kehren, nachdem man beruflich gerade erst angekommen zu sein schien, und sich – im positiven Sinn – ein bisschen Routine eingestellt hatte? Nach Studium und Referendariat mutete es eine gewisse Zeit lang abwegig an, sich wieder der Theorie zuzuwenden, wurde die Berufspraxis doch als viel sinnvoller erlebt als manche realitätsfern und dröge empfundene Seminarsitzung während der ersten zwei Ausbildungsphasen. Sich nach einigen Jahren im Schuldienst auf das Abenteuer „naturwissenschaftsdidaktische Forschung“ einzulassen, bedeutete somit ein Wagnis. Es mussten gewichtige, sinnstiftende Gründe sein, diese berufliche Entdeckungsreise anzutreten und sich aufzumachen, eine *Terra incognita* zu erkunden. Es würde ein Weg sein, der sich auf den ersten Blick relativ weit von dem entfernte, was man zuvor als eigentlich erfüllende und bedeutsame Tätigkeit empfunden hatte – zumal Naturwissenschaftsunterricht, in dem Lernende mit Faszination experimentieren, auch die Lehrkraft selbst begeistert. Lohnte es sich, all dies hinter sich zu lassen und sich für Jahre dem vermeintlich „trockenen“ Wissenschaftsbetrieb zuzuwenden?! Die Vorstellung, die bereichernde Arbeit mit den Klassen und ein sympathisches Kollegium für eine ungewisse Zeit aufzugeben, um stattdessen am Schreibtisch über dem Konstrukt „experimentelle Problemlösefähigkeit“ zu brüten – ein gewöhnungsbedürftiger Gedanke ...

Gleichwohl führt bereits die Reflexion darüber zu einer ersten Erkenntnis: Wer gerne und engagiert Naturwissenschaften unterrichtet, beschäftigt sich im Schulalltag immer wieder aufs Neue mit Fragen, wie Lernumgebungen weiter verbessert werden können. Es gilt, diese noch anschaulicher, motivierender und lernförderlicher zu gestalten, um heterogenen Lerngruppen gerecht zu werden, um neue, womöglich effektivere Methoden auszuprobieren, um einmal andere Unterrichtsinhalte mit den fokussierten Kompetenzen zu kombinieren – was dank der größeren Autonomie im Zuge der Bildungsplanreform von 2004 ermöglicht worden war (vgl. KMK, 2005 a). Die Umstellung vom detailliert ausgearbeiteten, input-orientierten Bildungsplan (MKJS, 1994) auf eine bislang ungewohnt offen gestaltete, output-orientierte Agenda (MKJS, 2004) brachte für die Kollegien und Fachschaften an den Schulen zu Beginn große Verunsicherung mit sich: Auf welche Weise sollten die in vage formulierten Bildungsstandards vorgegebenen Kompetenzen erreicht werden? Welche Lernkontexte böten sich

¹ zit. nach <http://www.zitate.de/kategorie/Reise> (09.05.2015)

beispielsweise speziell zur Förderung eigenständigen Experimentierens an? In welchen Klassenstufen des Schulcurriculums sollten die jeweiligen Kompetenzen wie intensiv berücksichtigt werden? Die Bildungsstandards von 2004 (in Baden-Württemberg darüber hinaus auch online bereitgestellte exemplarische Umsetzungsbeispiele und Niveaunkretisierungen) reichten nicht aus, diese und weitere Fragen zufriedenstellend zu beantworten. Unklar war im Hinblick auf die Befunde internationaler Schulleistungsstudien auch, ob die altbewährten unterrichtlichen Vorgehensweisen überhaupt zielführend und effektiv waren, oder ob die zum Teil als theorielastig und praxisfremd erlebte Ausbildung in Studium und Referendariat womöglich nicht mehr zeitgemäß sei angesichts des bildungspolitischen Paradigmenwechsels.

Vor diesem Hintergrund leuchtet zweifelsohne ein, dass sich angesichts der vielfältigen Herausforderungen im Schulalltag kaum die Zeit findet, solchen bedeutsamen Fragen nachzugehen. Überdies qualifizierte die grundständige Lehramtsausbildung nicht in ausreichendem Maß dazu, forschungsmethodologisch adäquat nach Antworten zu suchen. Sicherlich gibt es naturwissenschaftsdidaktische und schulpraktische Fachzeitschriften, die als eine Quelle für neue Impulse herangezogen werden können. Erfahrungsgemäß finden jedoch v. a. die erstgenannten Publikationen im beruflichen Alltag wenig Beachtung (vgl. Härtig, Kauertz & Fischer, 2012, S. 199).

Somit eröffnete sich schließlich eine auch aus der Schulpraxis heraus begründete Motivation, sich auf diese „Abenteuerreise“ mit dem strukturierten Promotionskolleg e^xMNU² zu begeben. Die vorliegende Arbeit stellt – in diesem Bild gesprochen – eine Art Reise(ergebnis)bericht dar. Interessante Erkenntnisse sind darin ebenso dokumentiert, wie auch weiterführende Fragen aufgeworfen und neue Impulse für die naturwissenschaftsdidaktische Forschung formuliert werden. Der Aufbruch in neue berufliche Gefilde erwies sich somit als lohnend³ und entpuppte sich als überhaupt nicht von der Schulpraxis losgelöst: Wertvolle Impulse und Perspektiven für die künftige Unterrichts- bzw. Lehrtätigkeit sind überzeugende Argumente. Zurückblickend und die Anforderungen der Gegenwart betrachtend zeigt sich, als wie kostbar sich die Horizonterweiterung durch diese „Reise“ erweist ...

Ludwigsburg, im September 2017

Frank Rösch

² „Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht“

³ Gleichwohl sollte Dr. Thomas Breuer mit seinem mahnenden Hinweis auf Kohelet 12.12 Recht behalten ...

*„Wer an der Küste bleibt,
kann keine neuen Ozeane entdecken.“*
(Fernando Magellan⁴)



Segelboot vor Elba⁵

*„Wenn du dich auf den Weg machst,
öffnet der Horizont seine Grenzen.“*
(aus dem Orient)

⁴ zit. nach Ludwigsburger Kreiszeitung (13.03.2017, S. 13)

⁵ Foto: Verfasser (August 2013)

Danksagung

„Zum Reisen gehört [sic] Geduld, Mut, guter Humor, Vergessenheit aller häuslichen Sorgen, und dass man sich durch widrige Zufälle, Schwierigkeiten, böses Wetter, schlechte Kost und dergleichen nicht niederschlagen lässt.“ (Adolph Freiherr von Knigge⁶)

... nicht zu vergessen gute Reisegefährtinnen und -gefährten, die mich auf der langen Promotionsreise begleiteten, und bei denen ich mich an dieser Stelle bedanken möchte:

Meinen beiden Doktorvätern, Prof. Dr. *Werner Rieß* und Prof. Dr. *Josef Nerb*, danke ich herzlich für ihre hervorragende Betreuung, Beratung, Unterstützung und Geduld.

Großer Dank gilt meinen ehemaligen Kolleginnen Dr. *Julia Bräutigam* und *Anneke Vogel* sowie meinem früheren Kollegen Dr. *Sebastian Schwab* im Rahmen der Zusammenarbeit zwischen e×MNU und SYSDENA⁷ für die gute Kooperation. Erst durch den großen persönlichen Einsatz, die Anregungen und die Talente Aller war die Realisierung des komplexen Projektverbunds möglich. Die angenehme, menschliche und humorvolle Arbeitsatmosphäre und die kollegiale Ergänzung im ganzen Projektteam inklusive unserer Betreuer habe ich sehr geschätzt.

Eine besondere Bereicherung des Gesamtprojekts stellte die Kooperation mit Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern am Naturschutzzentrum „Ruhestein“ (heute: Nationalparkzentrum Schwarzwald) dar: *Pia Allgaier*, *Dorothea Schulze*, *Andreas Twardon* und Dr. *Wolfgang Schlund* spreche ich meinen herzlichen Dank für ihre Unterstützung aus. Durch ihre kompetente Durchführung der Unterrichtsmodule am Naturschutzzentrum und ihre konstruktive Kritik bei der Optimierung des Programms wurde die Umsetzung der Konzeption am außerschulischen Lernort überhaupt erst möglich. Die außergewöhnliche Arbeit war für sie mit vielen zusätzlichen Aktivitäten verbunden – danke schön für dieses Engagement.

Gedankt sei den vielen Schülerinnen und Schülern, den Lehrkräften und deren Schulleitungen an Schulen in den Staatlichen Schulamtsbezirken Ortenau, Rastatt-Freudenstadt, Freiburg i. Br., Ludwigsburg und Künzelsau – Schwäbisch Hall: Im Rahmen von Erprobungsstudien 2009 bzw. 2010 sowie der Pilotstudie 2009 und der Hauptstudie 2010 engagierten sie sich in hohem Maß durch ihre Beteiligung: Neben dem „normalen Geschäft“ nahmen sie weitere Herausforderungen in Kauf: Bearbeitung von Tests, Interviews und Ausfüllen von Fragebögen bzw. Durcharbeiten von Handreichungen, Besuch von Fortbildungen, Organisation von Exkursionen bzw. Unterrichtsvertretung, Korrespondenz und vieles mehr. Ganz besonders danke ich meinen ehemaligen Kollegien in Bönningheim, Mainhardt, Crailsheim und Sachsenheim. Die jahrelange Verbundenheit ist kostbar.

⁶ zit. nach <http://www.aphorismen.de/zitat/21437> (09.05.2015)

⁷ „Systemisches Denken im Umgang mit Natur als Element der Bildung für nachhaltige Entwicklung“

Prof. Dr. *Markus Wirtz* und Prof. Dr. *Janina Strohmer* (Pädagogische Hochschule bzw. Evangelische Hochschule Freiburg), Dr. *Andreas Schulz* (Pädagogische Hochschule Zürich) und Dr. *Stefan Fuß* (Pädagogische Hochschule Ludwigsburg) sowie Prof. Dr. *Karin Schermelleh-Engel* und besonders Dipl.-Psych.'in *Jana C. Gäde* (Universität Frankfurt) danke ich herzlich für die hilfreiche Unterstützung bei statistischen und methodischen Fragen.

Julia Simonis, *Marion Kaltenbach* und *Eva Nöhre* danke ich für ihre Hilfe bei der Eingabe der Daten und die konstruktiven Hinweise, die der Weiterentwicklung von Kodierschemata zugute kamen. *Nora Ressel* sei darüber hinaus für die Datenerhebung im Rahmen der Schulbuchanalyse gedankt.

Mein Dank gilt Schulamtsdirektor *Wolfgang Zink* am Staatlichen Schulamt Offenburg, der unserer Projektgruppe ein engagierter „Türöffner“ und Vermittler war, wenn es um die Anwerbung von Lehrkräften und die Überzeugung von Schulleitungen ging.

Dr. *Jutta Nickel* (Pädagogische Hochschule Freiburg), Dr. *Andreas Schulz* und Prof. Dr. *Nicolas Robin* (Pädagogische Hochschule St. Gallen) sowie dem damaligen Sprecherteam des Promotionskollegs e*MNU sei gedankt für die Unterstützung und Organisation zahlreicher qualitativ hochwertiger Workshops, gemeinsamer Publikationen und die konstruktive Begleitung.

Dipl.-Psych. *Enrico Prinz* danke ich für die gute Zusammenarbeit in der ersten Phase der Studie.

Den Kolleginnen und Kollegen am Institut für Biologie und ihre Didaktik an der Pädagogischen Hochschule Freiburg, die mit Rat oder Tat zur Seite standen, danke ich herzlich für hilfreiche Anregungen und ihre Unterstützung – v. a. Dr. *Dietmar Glaubitz* und Dr. *Martin Otteni* sowie Dipl.-Biol.'in *Daniela Oßwald*. Ein Dankeschön geht auch an Dr. *Stefan Wahl* und Prof. Dr. *Christoph Mischo* vom Institut für Psychologie an der Pädagogischen Hochschule Freiburg.

Bei Prof. Dr. *Marcus Hammann* (Universität Münster) und Dr. *Maike Ehmer* bedanke ich mich für die guten Gespräche, Hinweise und die freundliche Genehmigung, auf Subtests aus ihrer Arbeitsgruppe zurückzugreifen.

Den *Verlagen Waxmann* und *Hogrefe* danke ich für die freundliche Genehmigung zur Verwendung von Subskalen im Rahmen des Forschungsprojekts, *anderen Verlagen* für die Genehmigung, die einzelnen Publikationen auch in die Online-Version aufzunehmen.

Beim *Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst* sowie beim *Ministerium für Kultus, Jugend und Sport des Landes Baden-Württemberg* bedanke ich mich für die Abordnung zum Zweck der Promotion und die Einrichtung des Strukturierten Promotionskollegs.

Meiner Familie danke ich von ganzem Herzen: für Eure verständnisvolle Begleitung, wunderbare Unterstützung und geduldige Ermutigung – Ihr gabt meinem Segel Wind.

Inhaltsverzeichnis

PROLOG	I
DANKSAGUNG	IV
INHALTSVERZEICHNIS	VI
VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN	XII
VERZEICHNIS DER TABELLEN	XIII
VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN	XIV
VERZEICHNIS DER BOXEN	XV
ZUSAMMENFASSUNG	XVI
SUMMARY	XVIII
1 EINLEITUNG	1
1.1 Fähigkeit zum eigenständigen Experimentieren – eine Schlüsselqualifikation?!	1
1.2 Schulische Beiträge zu naturwissenschaftlicher Grundbildung	3
1.3 Curriculare Entwicklungen, fachdidaktische Konzepte und offene Fragen	9
1.4 Die Bildungsplan-Reformen von 2004 und 2016: Chancen und Klärungsbedarf.....	15
1.5 Arbeitsbereiche naturwissenschaftsdidaktischer Forschung zum Experimentieren	20
1.6 Übergeordnete Fragestellung und Zielsetzungen dieser Arbeit.....	24
1.7 Aufbau der Arbeit	25
2 DAS EXPERIMENT ALS EMPIRISCHE NATURWISSENSCHAFTLICHE METHODE	28
2.1 Klärung des Terminus‘ „Experiment“	28
2.2 Experimentieren – uniforme naturwissenschaftliche ‚Universalmethode‘?.....	32
2.3 Funktionen und Kategorisierung von Experimenten in den Naturwissenschaften .	33

3 EXPERIMENTIEREN IM NATURWISSENSCHAFTSUNTERRICHT ALS PROBLEMLÖSEN	36
3.1 Klärung des „Problem“-Begriffs	36
3.2 Experimentieren als naturwissenschaftliches Problemlösen	38
3.3 Modellierung experimenteller Problemlösefähigkeit	42
3.3.1 Das „ <i>Scientific Discovery as Dual Search</i> “ (SDDS) – Modell	45
3.3.2 Das „Strukturmodell zum Wissenschaftlichen Denken“ nach Mayer (2007).....	47
3.3.2.1 Kognitive Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit	48
3.3.2.2 Beschreibung des Strukturmodells von Mayer (2007)	51
3.3.3 Spezifizierung des Modells für „experimentelle Problemlösefähigkeit“	55
4 FÖRDERUNG EXPERIMENTELLER PROBLEMLÖSEFÄHIGKEIT	61
4.1 Einflüsse auf Zielkriterien von Lehr-Lernprozessen	62
4.2 Zielkriterien hinsichtlich der Förderung <i>experimenteller Problemlösefähigkeit</i>	64
4.3 Förderung zusätzlicher Kompetenzen als Verständnisgrundlage	68
4.4 Merkmale des Soziotops	71
4.5 Schulmerkmale	72
4.6 Klassenmerkmale	75
4.7 Person(en)merkmale der Lernenden	77
4.7.1 Kognitive Lernvoraussetzungen	78
4.7.1.1 Kognitiver Entwicklungsstand und allgemeine kognitive Fähigkeiten	78
4.7.1.2 Domänenwissen.....	83
4.7.1.3 Präkonzepte in Zusammenhang mit experimenteller Problemlösefähigkeit	84
4.7.2 Metakognitive Fähigkeiten	85
4.7.3 Überblick zu kognitiv bzw. metakognitiv bedingten Schülerfehlern und Fehlvorstellungen	86
4.7.4 Einstellungen und emotionale Dispositionen	91
4.7.5 Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen	93
4.7.6 Sprachliche Kompetenzen.....	95
4.8 Lehrermerkmale	95
4.8.1 Professionelle Handlungskompetenz als Ziel der Lehrerausbildung	96
4.8.2 Professionswissen	97
4.8.2.1 Fachwissen und fachmethodische Kompetenzen.....	97
4.8.2.2 Fachdidaktisches Wissen.....	98
4.8.2.3 Pädagogisch-psychologisches Wissen	100
4.8.3 Motivationale, volitionale und soziale Merkmale.....	101
4.8.4 Überzeugungen und Werthaltungen.....	102
4.8.5 Konsequenzen für die Lehrerbildung.....	104
4.9 Forschendes Lernen bzw. Forschend-entwickelndes Unterrichtsverfahren	106
4.9.1 Zum Begriff „Forschendes Lernen“	107

4.9.2 Forschendes Lernen – ein moderat konstruktivistischer Ansatz	110
4.9.3 Forschend Experimentieren lernen.....	111
4.9.4 Wesentliche Merkmale Forschenden Lernens im Überblick.....	113
4.9.5 Problemorientiertes Lernen	115
4.9.6 Lernen in authentischen Kontexten	118
4.9.6.1 Klärung des Begriffs Lern-„Kontext“	119
4.9.6.2 Kontextorientierung: lange Tradition und aktuelle Trends.....	120
4.9.6.3 Vorteile kontextorientierten Lernens	122
4.9.6.4 Kontextorientierung als Chance für die Vernetzung von Kompetenzbereichen	128
4.9.6.5 Favorisierte Kontexte zum Aufbau eines adäquaten NOS-Verständnisses	130
4.9.6.6 Nachteile und Risiken kontextorientierten Lernens.....	134
4.9.7 Offenes Lernen	137
4.9.7.1 Mögliche Ursachen für die Resultate bei TIMSS und PISA	137
4.9.7.2 Förderung eigenständigen Experimentierens durch „minds-on“-Aktivitäten	141
4.9.7.3 Ziele und positive Wirkungen offenen Lernens beim freien Experimentieren ...	142
4.9.7.4 Voraussetzungen für die erfolgreiche Bearbeitung offener Experimentalaufgaben	145
4.9.7.5 Ausmaß der Öffnung im Experimentalunterricht bzw. Offenheit des Experimentierens.....	145
4.9.7.6 Möglichkeiten für Lernaktivitäten beim offenen Experimentieren.....	147
4.9.7.7 Probleme und Herausforderungen durch Offenheit beim Experimentieren	148
4.9.8 Instruktionale Unterstützung	150
4.9.8.1 Bedeutung und Bereiche instruktionaler Unterstützung.....	150
4.9.8.2 Formen instruktionaler Unterstützung	154
4.9.8.3 Der Cognitive Apprenticeship-Ansatz	157
4.9.9 Kooperatives Lernen.....	164
4.9.9.1 Bedeutung und Vorteile kooperativen Arbeitens im Experimentalunterricht	165
4.9.9.2 Bedingungen für erfolgreiche Zusammenarbeit	168
4.9.9.3 Herausforderungen und Nachteile in Zusammenhang mit kooperativem Lernen.....	170
4.10 Weitere Unterrichtsmerkmale	170
4.10.1 Beziehung zwischen Lehrkraft und Lernenden.....	170
4.10.2 Beziehungen zwischen den Lernenden.....	171
4.10.3 Curriculare Einbindung von Lernmodulen	172
4.11 Medien und Lehr-/Lernmaterialien.....	176
4.11.1 Kognitive Belastung durch Lernaktivitäten in Zusammenhang mit Medien	177
4.11.2 Kategorisierung von Experimenten bezüglich der eingesetzten Medien	178
4.11.3 Weitere Medien bei der Förderung experimenteller Kompetenzen	183
4.11.4 Lernaktivitäten in Zusammenhang mit Medien	188
4.12 Domänen zur Förderung experimenteller Kompetenzen	189
4.13 Synopsis wichtiger Studien zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit	191
4.13.1 Art der Lernaktivitäten in Zusammenhang mit Experimentieren	195
4.13.2 Orte des formalen Lernens	195
4.13.3 Untersuchte Schulstufen und Schularten	196
4.13.4 Fachinhaltliche Domänen	197

5	MESSUNG VON KOMPETENZEN	
	EXPERIMENTELLER PROBLEMLÖSEFÄHIGKEIT	201
5.1	Zweck der psychometrischen Untersuchung experimenteller Kompetenzen	201
5.2	Entwicklung angemessener Messmethoden und -instrumente	203
5.3	Verfahren zur Messung experimenteller Kompetenzen und deren Eigenschaften	208
5.4	Einsatz von Messverfahren und -instrumenten im schulischen Kontext	214
6	EIGENES FORSCHUNGSPROJEKT: KONZEPTION UND ÜBERBLICK	216
6.1	Ökologie – bedeutsame und vernachlässigte Domäne Forschenden Lernens	217
6.1.1	Bedeutsamkeit der Ökologie als Domäne schulischen Lernens.....	218
6.1.2	Ökologie – Domäne für die Förderung von Experimentalunterricht (?)	220
6.1.3	Komplexität der Domäne Ökologie aus fachwissenschaftlicher Perspektive	222
6.1.4	Problematik und Nachteile der Domäne Ökologie für den Experimentalunterricht..	227
6.1.5	Didaktisches Potenzial der Domäne Ökologie für den Experimentalunterricht	230
6.1.6	Bildung für Nachhaltige Entwicklung – ein anspruchsvoller Lernkontext.....	231
6.1.7	Fragen zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im eigenen Forschungsprojekt.....	232
6.2	Teilstudie 1: Analyse von Schulbüchern und Lehrerhandreichungen	234
6.2.1	Forschungsziele.....	234
6.2.2	Ergänzende Hinweise zum Procedere gegenüber den Angaben im Einzelbeitrag .	235
6.3	Teilstudie 2: Interventionsstudie in der Domäne Ökologie als Beitrag zu BNE.....	236
6.3.1	Forschungsziele.....	236
6.3.1.1	Konkretisierung der Forschungsfragen zur Wirksamkeit des Treatments „EXP“	236
6.3.1.2	Forschungsfrage zur Wirkung des Treatments „SYS“	237
6.3.1.3	Forschungsfragen zur Entwicklung eines geeigneten Messinstruments	240
6.3.2	Auswahl der Stichprobe.....	241
6.3.3	Methodik der Interventionsstudie.....	242
6.3.3.1	Design	242
6.3.3.2	Messinstrumente und -verfahren sowie Datenerhebungen	242
6.3.3.3	Parallelisierung der Treatments	244
6.3.3.4	Inhaltliche und didaktisch-methodische Gestaltung des Treatments EXP (Überblick).....	248
6.3.3.5	Didaktisch-methodische Spezifika des Treatments EXP zur Erleichterung des Lernens	256
7	SYNOPSIS DER EINZELBEITRÄGE –	
	VERORTUNG, IMPLIKATIONEN UND AUSBLICK.....	271
7.1	Zielsetzungen und Strukturierung des Kapitels.....	271
7.2	Grundlegende Überlegungen zur Validität und zu Schlussfolgerungen	271

7.3 Domänen zur Förderung von Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit	276
7.3.1 Erweiterte Diskussion	276
7.3.2 Schulpraktische Implikationen	278
7.3.3 Ausblick	279
7.4 Domänenwissen als eine zentrale Lernvoraussetzung bestimmter Kompetenzen	280
7.4.1 Zusammenfassung der Befunde.....	280
7.4.2 Erweiterte Diskussion	281
7.4.3 Schulpraktische Implikationen	281
7.4.4 Ausblick	282
7.5 Kontextbasiertes Forschendes Lernen – Vorteile und Risiken für das Lernen	282
7.5.1 Chancen des stark kontextorientierten Treatments	282
7.5.2 Erweiterte Diskussion	283
7.5.3 Schulpraktische Implikationen in Bezug auf Kontexte und Zielkriterien	285
7.5.4 Ausblick	287
7.6 Kognitives und metakognitives Potenzial als Lernvoraussetzung	288
7.6.1 Zusammenfassung der Befunde.....	288
7.6.2 Erweiterte Diskussion	289
7.6.3 Schulpraktische Implikationen	291
7.6.4 Ausblick	293
7.7 Zielkriterien – Bedeutung <i>zusätzlicher</i> Kompetenzen fürs Experimentieren	293
7.7.1 Zusammenfassung der Befunde.....	294
7.7.2 Erweiterte Diskussion	294
7.7.3 Schulpraktische Implikationen	295
7.7.4 Ausblick	296
7.8 Konzeptionelle Überlegungen zur Einführung der experimentellen Methode	298
7.8.1 Zielsetzung und Überblick über ein mögliches unterrichtliches Förderkonzept.....	298
7.8.2 Diskussion des Unterrichtskonzepts und der Materialien bzw. Lernaktivitäten	300
7.9 Konzeptionelle Überlegungen zur Heranführung an Besonderheiten ökologischer Experimente	302
7.10 Tenor aus der Synopse der Einzelbeiträge: Spiralcurricula	304
7.10.1 Zusammenschau: Argumente für ein Spiralcurriculum zur Förderung	305
7.10.2 Bezug zum baden-württembergischen Bildungsplan der SEKI von 2016	308
7.11 Weiterführende Überlegungen zu <i>Post hoc</i>-Befunden der Interventionsstudie ..	309
7.11.1 Unterschiede zwischen EXP-Treatment-Stichprobenclustern	309
7.11.2 Unterschiede in den Treatmenteffekten zwischen Mädchen und Jungen	311
7.12 Unterrichtsmedium Schulbuch – theoretisch großes, aber begrenzt genutztes Potenzial.....	313
7.12.1 Zusammenfassung und Bewertung der Befunde	314
7.12.2 Erweiterte Diskussion	316
7.12.3 Schulpraktische Implikationen	316
7.12.4 Ausblick	318

7.13 Zusammenfassung des Kapitels	319
8 QUELLENVERZEICHNIS	321
9 ANHANG.....	356
9.1 Schulbuchanalyse.....	356
9.1.1 Einzelbeitrag: Rösch (2013)	356
9.1.2 Datenerhebungsbögen	365
9.1.2.1 Erfassungsbogen für ein Schulbuch	365
9.1.2.2 Erfassungsbogen für eine Lehrerhandreichung.....	367
9.1.2.3 Erfassungsbogen zur Kodierung für einzelne Experimente / Versuche.....	369
9.2 Interventionsstudie	371
9.2.1 Einzelbeiträge mit dem Schwerpunkt auf der Förderung.....	371
9.2.1.1 Einzelbeitrag: Rösch, Rieß und Nerb (2012)	371
9.2.1.2 Einzelbeitrag: Roesch, Nerb und Riess (2015).....	389
9.2.2 Kurzbeschreibungen der Lernmodule im Treatment EXP	413
9.2.3 Messinstrumente der Interventionsstudie	442
9.2.3.1 Instruktion für die Fachlehrkraft.....	442
9.2.3.2 Leistungstest.....	444
9.2.3.3 Kodiermanuale des Leistungstests	454
9.2.3.4 Fragebogen zum Autonomieerleben.....	461
9.2.4 Einzelbeitrag mit Schwerpunkt auf Messung und Förderung domänenspezifischer experimenteller Kompetenzen: Rösch (2015)	462
9.3 Einzelbeitrag mit konzeptionellen Überlegungen: Rösch (2012).....	488
9.4 Versicherung an Eides statt	505
9.5 Verzeichnis der Schriften, Vorträge, Workshops und Poster-Präsentationen	506
9.5.1 Schriften.....	506
9.5.1.1 Monographien	506
9.5.1.2 Beiträge in Sammelwerken	507
9.5.1.3 Aufsätze und andere Beiträge in Zeitschriften	507
9.5.1.4 Sonstige Aufsätze und Beiträge	508
9.5.1.5 Abstracts in Tagungsbänden	508
9.5.2 Vorträge	510
9.5.3 Workshops und Fortbildungen.....	513
9.5.4 Poster-Präsentationen	514
9.6 Auszeichnungen für Projekte.....	515
9.7 Erfolgreiche Anwerbung von finanziellen Mitteln für Forschungsprojekte.....	515
EPILOG.....	517

Verzeichnis der Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
α	Signifikanzgrenze im Zusammenhang mit der Irrtumswahrscheinlichkeit bei inferenzstatistischen Tests
Abb.	Abbildung
[et] al.	[et] alii bzw. aliae: [und] andere (Mitarbeitende bei Koautorenschaft)
[Cronbachs] α	Maß der internen Konsistenz einer Skala als Hinweis auf den Grad der Reliabilität
bzw.	beziehungsweise
[Cohens] d	Effektstärkemaß, bekannter Schätzer für die Größe von Mittelwertunterschieden, standardisierte Mittelwertdifferenz
df	Freiheitsgrade (<i>degrees of freedom</i>)
evtl.	eventuell
ggf.	gegebenenfalls
i. A.	im Allgemeinen
i. B.	im Besonderen
i. d. R.	in der Regel
i. e. S.	im engeren Sinn
i. S. [v.]	im Sinne von
o. g.	oben genannte/-r/-s
p	Irrtumswahrscheinlichkeit bei inferenzstatistischen Tests
r	Korrelationskoeffizient / Effektstärkemaß für Produkt-Moment-Korrelationen von zwei intervallskalierten Merkmalen
s.	siehe
S.	Seite
s. a. a. O.	siehe an anderem Ort
s. o.	siehe oben
s. u.	siehe unten
Tab.	Tabelle
u. a.	unter anderem/-n
u. U.	unter Umständen
v. a.	vor allem
vgl.	vergleiche
vs.	versus
z. B.	zum Beispiel
zit.	zitiert
z. T.	zum Teil

Anmerkung. Weitere Abkürzungen sind i. d. R. in den Anmerkungen der jeweiligen Abbildung bzw. Tabelle erläutert.

Verzeichnis der Tabellen

1-1. Vergleich der Konzepte „Schlüsselqualifikation“ und „Kompetenz“	2
1-2. Beiträge experimenteller Problemlösefähigkeit zur Scientific Literacy	6
4-1. Schwierigkeiten, Fehlvorstellungen und -strategien beim Experimentieren	87
4-2. Handlungsfelder und Rollen der professionellen Expertise von Lehrkräften	96
4-3. Stellung und didaktische Funktionen von Experimenten im Unterrichtsverlauf	113
4-4. Elemente Forschenden Lernens und Beispiele	114
4-5. Definitionen und Umschreibungen des Begriffs „Kontext“ im didaktischen Sinn	119
4-6. Typen von experimentell zu bearbeitenden Lernaufgaben	146
4-7. Phasen des Cognitive Apprenticeship-Ansatzes	158
4-8. Studien zur Förderung (bzw. Diagnose) experimenteller Kompetenzen (Auswahl)	191
4-9. Domänen zur Förderung experimenteller Kompetenzen	198
4-10. Grad der Komplexität bei Experimenten in biologienahen Domänen	199
5-1. Eigenschaften von Messverfahren/ -instrumenten für experimentelle Kompetenzen .	209
5-2. Verwendung von Messverfahren / -instrumenten zum Experimentieren in Studien ...	210
6-1. Verortung der Haupt-Fragestellungen im Mehrebenenanalytischen Rahmenmodell .	232
6-2. Ablauf, Lernmodule, Inhalte und experimentelle Kompetenzen (Treatment EXP)	250
6-3. Gliederung der Informationen zu Lernmodulen in den Handreichungen	253
7-1. Häufigkeit echter Schülerexperimente in Lernaufgaben, geordnet nach Domänen	315
9-1. Kodierregeln: Subtest „Experiment planen“	454
9-2. Kodierschema: Subtest „Epistemische Fragen“	456
9-3. Kodierregeln: Subtest „Unabhängige Variablen identifizieren“	458
9-4. Kodierung: Subtest „Ansätze vergleichen“	459

Verzeichnis der Abbildungen

2-1. Bezug von Theorie und Empirie im hypothetico-deduktiven Verfahren	29
3-1. Schematische Darstellung der Komponenten eines Problemlöseprozesses	37
3-2. Modell experimenteller Problemlösefähigkeit	59
4-1. Mehrebenenanalytisches Rahmenmodell von Bedingungsfaktoren und Einfluss- größen in Lehr-Lernprozessen mit dem Fokus auf experimentellen Kompetenzen	63
4-2. Gelingensfaktoren für Forschendes Lernen	114
4-3. Phasen und Elemente kontextbasierten Forschenden Lernens	130
4-4. Besser das nächste Mal wieder nach ‚Rezept‘ kochen!?	140
6-1. Ablauf und Verortung von Datenerhebungen in den Experimentalgruppen	243
6-2. Inhaltliche Parallelisierung und Spezifika der Ökologie-Experimentalbedingungen ...	246
6-3. Phasenschema I: Struktur und Komponenten des Treatments EXP	247
6-4. Phasenschema II: Struktur und Komponenten des Treatments SYS	247
6-5. Auszug aus der EXP-Lehrerhandreichung für ein exemplarisches Lernmodul	255
6-6. Konstitutive Merkmale von Umweltlernorten	259
6-7. Mnemotechnik-Objekt „Werkzeugkiste“	264
6-8. Arbeitsblatt zur Einführung der „Werkzeugkiste“ als Hilfe zur Prozessregulation	265
6-9. „ZuKAKo-Regel“ als mnemotechnische Stützstrategie	266
6-10. Lernende experimentieren in ‚Forschungsteams‘ und präsentieren und diskutieren in der ‚science community‘	270
9-1. Fiktiver Flächennutzungskonflikt in „Sonnstein“ als Lernkontext	414
9-2. Pendel-Experiment mit Einführung der „Werkzeugkiste“	422
9-3. Hypothesenprüfung durch Erfassung abiotischer Standortfaktoren	425
9-4. Beobachtung und Untersuchung von Organismen aus Laubstreu und Totholz	426
9-5. Apparatur zum Experiment „Weinbau-Forschung“	437
9-6. Schema der Modellierung bei Modellexperimenten	438

Verzeichnis der Boxen

1-1. Klärung des Begriffs „Domäne“	18
1-2. Übergeordnete Fragestellung des eigenen Forschungsprojektes	24
2-1. Begriffliche Konkretisierung des Experiments bei Kerschensteiner	30
2-2. Exkurs: definitive ‚Erkenntnis‘ durch Experimente?	31
3-1. Eigenständiges Experimentieren – ein schwieriges Unterfangen	38
3-2. Herausforderung beim Experimentieren durch ungewohnte Offenheit	39
4-1. Treatment „Problemlösendes Lernen und Experimentieren“ (Peter, 2014)	159
6-1. Mögliche Ursachen von Unterschieden in der ökologischen Wirksamkeit	224
7-1. Zusammenfassende Bewertung zentraler Befunde der eigenen Interventionsstudie .	272
7-2. Spiralcurriculum-Entwurf „Förderung eines Bewusstseins für externe Validität“	303

Zusammenfassung

Das *Experiment* ist eine essentielle Erkenntnisgewinnungsmethode der Naturwissenschaften. Eigenständiges Experimentieren erfordert zahlreiche Kompetenzen und wird als anspruchsvoller Problemlöseprozess betrachtet. Experimentelle Problemlösefähigkeit und damit verbundenes Wissenschaftsverständnis leisten einen wichtigen Beitrag zur naturwissenschaftlichen Grundbildung, sind jedoch bei vielen Lernenden nicht zufriedenstellend ausgeprägt. Fachdidaktische Forschung bemüht sich daher um die Verbesserung schulischer Lehr-Lernprozesse.

Seit Jahrzehnten werden in der *naturwissenschaftsdidaktischen Unterrichtsforschung* Konzepte zur Förderung experimenteller Kompetenzen entwickelt, implementiert und evaluiert. Dafür müssen Kompetenzmodelle postuliert und empirisch geprüft sowie Messverfahren und Testinstrumente zur Erfassung der Performanz entwickelt, erprobt, validiert und optimiert werden. Zahlreiche Studien bezeugen, wie hochkomplex das Zusammenspiel diverser Voraussetzungen und Faktoren ist, welche die Effektivität von Naturwissenschaftsunterricht zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit beeinflussen. Diese Einflussgrößen sind auf ganz unterschiedlichen Ebenen verortet: individuelle Lernvoraussetzungen und Verarbeitungsprozesse der Schülerinnen und Schüler; Eigenschaften der Klasse, der Schule und des Sozietops; Unterrichtsmedien; Merkmale der Lehrkraft sowie Aspekte der Unterrichtsprozesse.

Inzwischen liegen zahlreiche *Forschungserkenntnisse* vor: (a) zur Bedeutung kognitiver, metakognitiver und affektiver Voraussetzungen und deren Entwicklungsverläufe, (b) zur Operationalisierung und Dimensionalität von Kompetenzkonstrukten, (c) zur Wirksamkeit von Treatments für spezielle Kompetenzen und (d) zur Bedeutung des moderaten Konstruktivismus für die Gestaltung erfolgreicher Lernumgebungen. Empirisch wurde hingegen u. a. kaum untersucht, (a) welche Chancen und Herausforderungen für die Förderung domänenübergreifender und -spezifischer experimenteller Kompetenzen mit der komplexen Domäne *Ökologie* verbunden sind, (b) wie sich anspruchsvolle Lernkontexte im Rahmen der Bildung für nachhaltige Entwicklung in dieser Domäne in der Orientierungsstufe auf verschiedene Zielkriterien auswirken, (c) ob Schulbücher und Lehrerhandreichungen die Kompetenzförderung gut unterstützen und (d) ob systemisches Denken für das Verständnis für externe Validität ökologischer Experimente vorteilhaft sein könnte; des Weiteren wurde (e) der Großteil von Interventionsstudien in Stichproben aus besonders leistungsstarken Versuchspersonen durchgeführt, was deren Übertragbarkeit auf Lernende mit anderen kognitiven Voraussetzungen relativiert.

In dieser Arbeit werden die Befunde einer quasiexperimentellen *Interventionsstudie* zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung mit mehreren Experimentalgruppen in der 6. Klassenstufe an Realschulen in Baden-Württemberg sowie einer *Analyse von Schulbüchern und Lehrerhandreichungen* zum Fächerverbund „Naturwissenschaftliches Arbeiten“ der Orientierungsstufe in der aktuellen naturwissenschaftsdidaktischen Forschung verortet und in diesem Rahmen diskutiert.

Die *zentralen Erträge* der in den Einzelbeiträgen vorgestellten eigenen Studien umfassen mehrere Erkenntnisse: dass (a) domänenübergreifende experimentelle Kompetenzen in den teilnehmenden Realschulklassen auch in einem anspruchsvollen Lernkontext bereits in der 6. Klassenstufe gefördert werden können, jedoch nur mit kleinem Effekt; (b) das domänennahe Verständnis für Kriterien der externen Validität trotz anschaulicher Beispiele und expliziter Reflexion nicht gefördert wurde, es aber Anhaltspunkte gibt, dass systemisches Denken das Verständnis besser steigern könnte; (c) sich die Domäne „Ökologie“ zur Einführung grundlegender domänenübergreifender experimenteller Kompetenzen angesichts ihrer Komplexität und des für die Suche im Hypothesen- und Experimentraum, die Interpretation der Befunde und die Beurteilung von Validitätskriterien erforderlichen enormen Domänenwissens in der Orientierungsstufe nicht eignet; (d) Domänenwissen die Suche im Hypothesenraum begünstigt, jedoch für die untersuchten anderen, domänenübergreifenden experimentellen Kompetenzen ohne Belang ist; (e) Schulbücher und Lehrerhandreichungen für die Orientierungsstufe (Bildungsplan 2004) wenig Angebote und Impulse für eigenständiges Experimentieren sowie kaum inhaltliche und didaktisch-methodische Informationen zum Aufbau experimenteller Kompetenzen enthalten.

Als Perspektiven bzw. *Implikationen für die Schulpraxis* lassen sich aus den eigenen Forschungsarbeiten u. a. ableiten: (a) Gestaltung von Spiralcurricula zur kumulativen Förderung domänenübergreifender und domänenspezifischer experimenteller Kompetenzen; (b) Erarbeitung und Beurteilung von Validitätskriterien sowie Weiterentwicklung des Naturwissenschaftsverständnisses anhand der Domäne *Ökologie* in höheren Klassenstufen; (c) Schwerpunktsetzung auf der Ebene der Zielkriterien des Unterrichts, intensive Einübung jeder Kompetenz; (d) Reduktion der kognitiven Belastung aus eher nebensächlichen Treatmenteigenschaften, die z. T. kontextbedingt sind; (e) Gestaltung bzw. Auswahl von Schulbüchern und Lehrerhandreichungen mit ausführlichen, möglichst aktuellen didaktisch-methodischen Hinweisen, Informationen zur experimentellen Methode, wissenschaftsmethodischen Fähigkeiten und Strategien sowie Lerngelegenheiten für hands- *und* minds-on-Schülerexperimente.

Desiderate für die künftige naturwissenschaftsdidaktische Forschung betreffen u. a. (a) die Optimierung des Designs der Interventionsstudie für differenziertere Analysen von Gelingensbedingungen der Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit, (b) die Weiterentwicklung von Tests sowie (c) die Untersuchung der neuen Generation von Schulbüchern und Lehrerhandreichungen: hinsichtlich Hinweisen, Lernangeboten und spiralcurricularer Konzeption.

Schlüsselwörter: Experiment, Schülerexperiment, systemisches Denken, Kompetenzförderung, Cognitive Apprenticeship, Domäne, Ökologie, Lernkontext, Bildung für nachhaltige Entwicklung, Interventionsstudie, Validität, Spiralcurriculum, Schulbuchanalyse.

Promoting Experimental Problem-solving Ability

Empirical results and conceptual considerations with particular focus on the complex domain “ecology” and context-based learning in grades 5-6

Summary

Experimentation is an essential method for knowledge acquisition. Independent experimentation requires numerous competences and is viewed as a challenging problem-solving process. Although problem-solving ability in experimentation and the associated conceptions of nature of science are both fundamental contributions to scientific literacy, they are not satisfactorily present in many learners. For this reason, *research in science education* is focusing on optimizing processes of teaching and learning in schools.

For several decades, possible ways of promoting the development of competences in experimentation have been conceived, implemented and evaluated. Competence models must be postulated and empirically proofed, and assessment methods as well as test instruments have to be developed, tried, validated and optimized. Numerous studies have shown just how complex the system of various assumptions and contributing factors that influence the effectiveness of science instruction to develop competences in experimentation can be. These influencing variables are located on different levels: individuals' learning conditions and learning processes; conditions in the entire class, the school, and the social environment; the type of learning media used; qualities of the instructor; and characteristics of the instructional processes.

Many points have been *clarified* about (a) the significance of cognitive, metacognitive, and affective prerequisites and how they develop; (b) the operationalization and dimensionality of competence constructs; (c) the effectiveness of treatments for enhancing specific competences; and (d) the role of a moderate constructivism in designing successful learning environments. By contrast, several points have not been extensively empirically investigated: (a) which opportunities and challenges for the promotion of cross-domain and domain-specific experimentation competences are connected with the complex domain “ecology”; (b) how do sophisticated learning contexts within the framework of “education for sustainable development” in grades 5 and 6 effect the achievement of different targeted goals; (c) whether school textbooks and booklets of recommendation with information and didactic-methodological proposals for science teachers help to promote competence development well; and (d) whether systems thinking for the understanding of external validity of ecological experiments could be useful; and further (e) how well can the results of the majority of intervention studies, which were conducted on samples of particularly successful students, be applied to a broad population of learners with different cognitive conditions.

In this thesis, the findings of a quasi-experimental *intervention study* to promote experimental problem-solving ability within the framework of ecological literacy are presented. The domain studied was “forest ecology”. The participants were grade 6 students in Middle Schools [Realschule] in southwestern Germany. In addition, we conducted an *analysis of school textbooks and teacher handouts* in the integrated school subject “scientific inquiry” [Naturwissenschaftliches Arbeiten] used in grades 5 and 6. The results of our studies are discussed with regard to the current research in science education.

The *major results* are that (a) cross-domain experimentation competences can be promoted in grade 6 within our sophisticated SSI-learning context, although only to a small degree; (b) despite simple, illustrative examples and explicit reflection used in instruction, domain-specific understanding of particular criteria for external validity is not promoted; however there is indication that systems thinking could improve comprehension; (c) *ecology* is not a suitable domain to promote basic cross-domain experimentation competences in grades 5 and 6 because it deals with highly complex systems and requires broad domain knowledge for the search in both hypothesis and experiment spaces, to interpret experimental findings, and to assess the validity of those findings; (d) prior domain knowledge aids the search in the hypothesis space, but is of no significance for the other, cross-domain experimental competences on which we focused; (e) school textbooks and booklets for science teachers for grades 5 and 6 (national curriculum from 2004) give only few suggestions and learning opportunities for independent experimentation and contain hardly any content or didactic-methodological information that would enhance experimentation competences.

The *implications* for improving teaching practice that can be gleaned from this study are: (a) design of spiral curricula that cumulatively promote cross-domain and domain-specific experimentation competences; (b) development and evaluation of validity criteria and further improvement of the understanding of nature of science through the domain „ecology“ in higher grades; (c) narrow focus on the level of the goals of instruction, intensive practice of each competence; (d) reduction of the cognitive load of trivial characteristics of the treatment, which are partially dependent on the context; (e) design or choice of school textbooks and teacher booklets with detailed, up to date didactic-methodological advice, information about the experimental method, skills and strategies of scientific reasoning as well as learning opportunities for hands- *and* minds-on student experiments.

It is *desirable in future studies* to (a) optimize the design of the intervention study for differentiated analyses of conditions for success in promoting experimental problem-solving ability, furthermore to (b) develop the test instruments, and to (c) investigate the new generation of school textbooks and teacher materials with respect to didactic-methodical advice, learning opportunities and spiral curriculum conception.

Key words: Experiment, school experiment, systems thinking, competence development, cognitive apprenticeship, domains, ecology, learning context, education for sustainable development, intervention study, validity, spiral curriculum, textbook analysis.

1 Einleitung

1.1 Fähigkeit zum eigenständigen Experimentieren – eine Schlüsselqualifikation?!

„Die Welt wandelt sich immer schneller.

*Knifflige Aufgabe also, die Kinder auf eine Zukunft vorzubereiten,
die sich sehr von der Gegenwart unterscheidet.“*

(Schulze, 2016, S. 9)

In einem Zeitalter der Wissensexplosion (vgl. Campbell & Reece, 2006, S. VII, X; von Hentig in MKJS, 2004, S. 7; Labudde & Möller, 2012, S. 23; Storch, 2017, S. 3) und des gesellschaftlichen Wandels (vgl. Schulze, 2016) spielen Offenheit, Kompetenzen zum fortwährenden Erwerb von Kenntnissen und zur selbstständigen Erkenntnisgewinnung sowie der Aufbau neuer Fähigkeiten und Fertigkeiten mehr denn je eine wichtige Rolle (vgl. Arnold & Neber, 2008; Labudde & Möller, 2012, S. 12 f.; Vorholzer, von Aufschnaiter & Kirschner, 2016, S. 26). Im Hinblick auf sogenannte „epochale Schlüsselprobleme“ (Klafki, 1998, S. 236) aber auch auf Herausforderungen in Alltag und Beruf kommt darüber hinaus der individuellen Fähigkeit große Bedeutung zu, Probleme angemessen bearbeiten zu können: „*Problemlösendes Denken* ist die Kernkompetenz des 21. Jahrhunderts“ (Funke, 2013, S. 43; Hervorhebung durch den Verfasser).

Schulze (2016, S. 9) sieht einen Schlüssel für die Entwicklung entsprechender „Flexibilität und Kreativität“ darin, bereits in der Kindheit viele Gelegenheiten und Anregungen zum „selbstständigen Experimentieren“ zu schaffen, zumal Kindern diese – zu Beginn meist explorative und unsystematische – Erkundungsmethode von Natur aus sehr vertraut ist (vgl. Goswami & Wengenroth, 2001, S. 167; Klahr & Simon, 1999, S. 525; Köhnlein, 1991, S. 33 f.; Kuhn, Schauble & Garcia-Mila, 1992, S. 324; Moisl, 1988, S. 4; Sodian, Koerber & Thoermer, 2006, S. 11; Windt, Scheuer & Melle, 2014, S. 71): „[...] selbstständiges, konzentriertes Ausprobieren ist Voraussetzung dafür, Freude am lebenslangen Lernen und Forschen zu entwickeln“ (Schulze, 2016, S. 9; vgl. auch von Falkenhausen, 1971, S. 108). Neben *motivationalen und volitionalen Aspekten* sind allerdings auch *methodologische Kenntnisse, wissenschaftsmethodische Kompetenzen* und *selbstregulatorische Fähigkeiten* notwendig (vgl. Abschnitte 3.3.2 und 3.3.3), um durch aussagekräftige Experimente eigenständig Erkenntnisse zu gewinnen. Staeck (2010, S. 425) betont in logischer Konsequenz den hohen Stellenwert „der Einführung und Einübung bedeutender naturwissenschaftlicher [Denkweisen und] Arbeitsverfahren, die der erfolgreichen Lebensbewältigung dienen“ (vgl. auch ebd., S. 423). Angesichts zunehmender Komplexität von interdependenten Systemen und in An-

betracht konfligierender Interessen gibt es immer anspruchsvollere Herausforderungen und viele „divergierende Probleme“ (Werning & Kriwet, 1999, S. 7), die u. a. naturwissenschaftliche Zusammenhänge betreffen. „Der Umgang mit Unsicherheit, der Mut und die Fähigkeit zur Erfindung von Problemlösungen, von Antworten auf Problemstellungen und zur Reflexion der möglichen – geplanten und nicht geplanten – Auswirkungen von Problemlösungen in komplexen Beziehungsgeflechten sowie deren Bewertung werden damit zu bedeutsamen Schlüsselqualifikationen“ (ebd.). Diese Bezeichnung drückt aus, dass sie einen Zugang zu wesentlichen Bereichen und Lösungen zu eröffnen vermag.

Inwiefern *experimentelle Problemlösefähigkeit* in besonderem Maß eine bedeutsame *Schlüsselqualifikation* – nicht nur in Ausbildung und Beruf – darstellt, wird im Folgenden weiter geklärt. Dazu soll das Konzept der Schlüsselqualifikation näher betrachtet werden, spannt es doch sehr offensichtlich einen konzeptionellen Bogen zur Kompetenzförderung in der Schule, die schwerpunktmäßig in Kapitel 4 wieder aufgegriffen wird.

Tab. 1-1. Vergleich der Konzepte „Schlüsselqualifikation“ und „Kompetenz“

Schlüsselqualifikationen	Kompetenzen
<p>„Alle Kenntnisse, Fähigkeiten, Einstellungen und Verhaltensweisen, die a) der Erweiterung bestehender Qualifikationen oder dem Erwerb neuer dienen, b) für die Bewältigung einer Vielzahl von Aufgabenstellungen grundlegend sind und c) zum aktiven und kritisch-konstruktiven Umgang mit neuen Techniken, Arbeitsmitteln sowie Organisationsformen der Arbeit befähigen.“ (Schaub & Zenke, 1995, S. 299)</p>	<p>„[...] unter Kompetenzen [versteht man] die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können.“ (Weinert, 2002, S. 27 f.)</p>

Wie in Tabelle 1-1 ersichtlich ähnelt das Konzept der Schlüsselqualifikationen sensu Schaub und Zenke (1995, S. 299) in großen Teilen dem *Kompetenzbegriff* nach Weinert (2002, S. 27 f.) – etwa hinsichtlich der Mehrdimensionalität, der Bedeutsamkeit, der umfassenden Nutzbarkeit und des Zusammenhangs mit Einstellungen. Weinert (2002) fasst seine Kompetenzdefinition allerdings deutlich enger – Kompetenzen sind gemäß seines Konzepts in stärkerem Maß anforderungsspezifisch als Schlüsselqualifikationen bei Schaub und Zenke (1995), die wiederum v. a. mit beruflichen Anforderungen in der Arbeitswelt assoziiert sind. Für die Förderung und Anwendung von Schlüsselqualifikationen ist jedoch ebenfalls situierendes, kontextspezifisches Lernen nötig (vgl. Gräsel & Parchmann, 2004 a, S. 173 ff.): „Ihre Entwicklung ist an die Bewältigung konkreter [...] Anforderungen gebunden, denn nur von tatsächlichen Aufgabenstellungen her kann die Bedeutung allgemeiner Befähigungen (abstrahierendes und logisches Denken, Planen, [...] Kontrollieren, [...] systematische Fehlersuche, kooperatives Handeln,

Selbständigkeit usw.) erfahren werden“ (Schaub & Zenke, 1995, S. 299; vgl. auch Tiemann, Koppelt & Nehring, 2011, S. 257). Folgt man dem Kompetenzkonzept von Weinert (2002), so handelt es sich bei *experimenteller Problemlösefähigkeit* streng genommen um ein ‚Bündel‘ diverser Kompetenzen (vgl. Abschnitte 3.2 und 3.3). Gemäß Schaub und Zenke (1995) stellt sie eine wichtige Schlüsselqualifikation in Zusammenhang mit eigenständiger Erkenntnisgewinnung und Kritikfähigkeit dar, etwa im Hinblick auf Testgütekriterien bei der Hypothesenprüfung und die Aussagekraft von Experimenten (vgl. auch Nießeler, 2008, S. 52).

Zusammenfassend lässt sich bereits an dieser Stelle erahnen, dass experimentelle Problemlösefähigkeit als ein wichtiges Rüstzeug für die Gegenwart und Zukunft im Leben heutiger Menschen betrachtet werden muss – nicht nur im beruflichen Kontext: „Diese Forschungshaltung hat allgemeinbildenden Wert. Sie ist Voraussetzung einer selbstgesteuerten Lebenshaltung“ (Eisner, Kattmann, Kremer, Langlet, Plappert & Ralle, 2017 a, S. 150).

Diese Einsicht führt unweigerlich zu der Frage, ob und wie Schule Heranwachsende beim Aufbau dieser komplexen Schlüsselqualifikation bzw. entsprechender Kompetenzen unterstützt, da sie dem Erziehungs- und Bildungsauftrag des Schulgesetzes zufolge „auf die Mannigfaltigkeit der Lebensaufgaben und auf die Anforderungen der Berufs- und Arbeitswelt mit ihren unterschiedlichen Aufgaben und Entwicklungen vorzubereiten“ habe (Land Baden-Württemberg, 1983, § 1). Im folgenden Abschnitt ist daher zunächst zu klären, ob und in wie weit experimentelle Problemlösefähigkeit im schulischen Bildungswesen auch als ein zentrales Bildungsziel legitimiert werden kann bzw. wird.

1.2 Schulische Beiträge zu naturwissenschaftlicher Grundbildung

„Biologische Phänomene beeinflussen nahezu alle Lebensbereiche des Menschen.

Ihre Erschließung trägt wesentlich zum Selbstverständnis des Menschen

als Teil der lebendigen Natur bei.“

(MKJS, 2016 c, S. 3; Hervorhebung durch den Verfasser)

Sotiriou, Xanthoudaki, Calcagnini, Zervas, Sampson und Bogner (2012, S. 9) bringen eine wichtige Erkenntnis auf den Punkt: „Wissenschaft verstehen ist in der heutigen Gesellschaft essentiell“. Dies erscheint in einem Zeitalter, das grundlegend von Naturwissenschaften und Technologien geprägt ist (vgl. Bybee, 1997, S. 12; Campbell & Reece, 2006, S. 23 f.; Dittmer, Gebhard, Höttecke & Menthe, 2016, S. 98; Durant, 1993, S. 130; Hauenschild & Bolscho, 2005, S. 26, 53 f., 62; Höttecke, 2008, S. 7; Jank & Meyer, 2009, S. 232 f.; Klafki, 1998, S. 236

ff.; KMK, 2005 a, S. 6; Regge, 1993, S. 125; Rhode-Jüchtern, 2009, S. 23, 123 ff.; Ruberti, 1993, S. 13), äußerst plausibel. Insofern sind die Notwendigkeit und der Bildungswert *naturwissenschaftlicher Grundbildung* offensichtlich (vgl. Berck & Graf, 2010, S. 18; Köller, 2016, S. 9; MKJS, 2004, S. 96; Storch, 2017, S. 3). Sowohl für unsere Gesellschaft als auch für jedes darin selbstbestimmt lebende Individuum (vgl. Jank & Meyer, 2009, S. 209) spielt die im angloamerikanischen Sprachraum als *Scientific Literacy* bezeichnete (vgl. Gebhard Höttecke & Rehm, 2017, S. 39) naturwissenschaftliche Grundbildung eine bedeutsame Rolle, „ermöglicht [sie doch] [...] eine aktive Teilhabe an gesellschaftlicher Kommunikation und Meinungsbildung über technische Entwicklung und naturwissenschaftliche Forschung“ (KMK, 2005 a, S. 6; vgl. auch Bybee, 1997; Dittmer et al., 2016, S. 97 ff.; Durant, 1993, S. 130; Eisner, Kattmann, Kremer, Langlet, Plappert & Ralle, 2017 b, S. 190; Gebhard et al., 2017, S. 38; Lewis, 2000, S. 107 f.; MKS, 2004, S. 96; Ruberti, 1993, S. 13 f.). Ohne Zweifel ist sie folglich eine notwendige Voraussetzung für „Aufklärung, Mündigkeit und Selbstbestimmung des Menschen als Ziel von [...] Bildung“ (Schaub & Zenke, 1995, S. 79; vgl. auch Bader, 1993, S. 50 f.; Jank & Meyer, 2009, S. 235; Nolin, 1993, S. 187 ff.; Schaub & Zenke, 1995, S. 74 f.). Experimentelle Problemlösefähigkeit, verstanden als das ‚Bündel‘ an Kompetenzen, die es erlauben, eigenständig zu experimentieren und experimentelle Befunde angemessen zu interpretieren (vgl. LISA, 2003, S. 14 f.), stellt insofern einen wichtigen Beitrag zur Problemlösefähigkeit im Allgemeinen und für den naturwissenschaftsbezogenen Bereich im Speziellen dar: „Ordinary citizens should not think [that] it [is] impossible for them to discover something new about reality“ (Nolin, 1993, S. 189).

Der Erwerb und das verständnisvolle Durchdringen zentraler naturwissenschaftlicher Konzepte, Prinzipien und Zusammenhänge in Form von *Fachwissen* wurde längst zu Recht als ein zentraler Kompetenzbereich im zeitgenössischen Naturwissenschaftsunterricht etabliert (vgl. KMK, 2005 a, S. 7; MKJS, 2016 c). Dieses Leitziel (vgl. Gropengießer, Kattmann & Krüger, 2010, S. 68 f.) ist in der Fachdidaktik unter dem Terminus „*to learn science*“ (Spörhase, 2012 b, S. 32) seit jeher anerkannt und wird als eine zentrale Komponente von *Scientific Literacy* betrachtet. Zweifelsfrei stellt jedoch *formale Bildung* (vgl. Jank & Meyer, 2009, S. 213) ein mindestens ebenso wesentliches und verbindliches Richtziel (vgl. Gropengießer, Kattmann & Krüger, 2010, S. 68 f.) von Schule dar (vgl. z. B. von Hentig in MKJS, 2004, S. 10 f.; KMK, 2005 a, S. 6 f., 10 f.; MKJS, 2004, S. 8): Unterricht soll Heranwachsende darin unterstützen, „Verhaltensweisen und Handlungskompetenzen zur Bewältigung gegenwärtiger und zukünftiger Lebenssituationen“ (Schaub & Zenke, 1995, S. 145) aufzubauen. *Gebildet* kann demnach nur sein, wer – u. a.⁸ – „im Sinne der methodischen Bildung über instrumentel-

⁸ Es kann als bildungstheoretischer Konsens betrachtet werden, dass Bildung daneben noch zahlreiche weitere Persönlichkeitseigenschaften, Attribute und Kriterien umfasst (vgl. Burkard & Weiß, 2008, S. 23 ff.; Jank & Meyer, 2009, S. 229, 235; Schaub & Zenke, 1995, S. 74 f., 145, 203, 240 f.; von Hentig in MKJS, 2004, S. 9 ff.).

le Fertigkeiten und methodische Fähigkeiten für lebenslanges Lernen verfügt“ (ebd.; s. auch Abschnitt 1.1; vgl. Gräsel & Parchmann, 2004 a, S. 176). Duit (2003, S. 4) zufolge leistet *wissenschaftliches Denken* in Verbindung mit den Kompetenzen für eigenständige Erkenntnisgewinnung einen wichtigen Beitrag zur formalen Bildung (vgl. auch Pfeifer, 2006, S. 10). Dieser Meinung sind auch Johnson und Lawson (1998, S. 100): „[...] high school biology instructors would be well advised to be more concerned with the development of their students' reasoning abilities than with making certain that they cover a wide range of specific biology concepts“ (vgl. auch Kerschensteiner, 1963, S. 38, 76). Wie in den Abschnitten 3.3.2 und 3.3.3 sowie bei Rösch (2015) expliziert, spielt *Domänenwissen* auch bei der hypothesenprüfenden Erkenntnisgewinnung jeglicher Art eine Rolle, ist also nicht pauschal gegen Erkenntnisgewinnungskompetenzen hinsichtlich der generellen Bedeutsamkeit auszuspielen. Durant (1993, S. 132) stellt vor diesem Hintergrund vermittelnd klar, dass Fachwissen durchaus seine Berechtigung habe, dessen Erarbeitung aber prozesshaft, z. B. im Rahmen *Forschenden Lernens* (s. Abschnitt 4.9), erfolgen sollte: „Instead of learning science by absorbing received wisdom, so-called ‚process science‘ requires students to learn science by doing it“. Lehrer und Schauble (2000, S. 40) warnen gar im Hinblick auf ein korrektes *Wissenschaftsverständnis*: „It is a distortion of mathematics and science to present them as bodies of finished knowledge, rather than as activities centered around the ongoing production of knowledge“.

In welcher unterschiedlicher Weise die Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kenntnisse, die eigenständiges Experimentieren ermöglichen, und die mit dieser Lernaktivität verbundenen Emotionen und Einstellungen essentiell zur naturwissenschaftlichen Grundbildung beitragen können, illustrieren die folgenden Zitate:

„Naturwissenschaftsunterricht ohne Experimente ist kaum vorstellbar, stellen diese doch ein wesensbestimmendes Merkmal der Naturwissenschaften dar.“
(Emden & Sumfleth, 2012, S. 68)

„[...] das Experiment bietet [...] ungeahnte Möglichkeiten, den Lernprozeß [sic] motivierender und effektiver zu gestalten“
(Schmidkunz & Lindemann, 2003, S. 12)

„Viel reizvoller würde der Unterricht, wenn mehr experimentiert würde.“
(von Falkenhausen, 1971, S. 109)

Ausführlich die Bedeutung experimenteller Problemlösefähigkeit bzw. experimenteller Lernaktivitäten für naturwissenschaftliche Grundbildung darzustellen, würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen und liegt nicht in deren Fokus. Tabelle 1-2 gibt jedoch zumindest einen Überblick über die von Norris und Phillips (2003, S. 225 ff.) hervorgehobenen zentralen *Dimensionen von Scientific Literacy* (vgl. auch Bybee, 1997; Hammann, 2006 b, S. 131), die durch (eigenständiges) Experimentieren und die Förderung dafür notwendiger Kompetenzen günstig beeinflusst werden können (vgl. auch Zhang, Chen, Sun & Reid, 2015, S. 529). Angesichts der zahlreichen Referenzen wird deutlich, dass es sich bei dieser Einschätzung nicht um die Meinung einiger weniger Autoren handelt. Sie basiert vielmehr auch auf zahlreichen empirischen Befunden.

Tab. 1-2. Beiträge experimenteller Problemlösefähigkeit zur Scientific Literacy

Beitrag (Dimension)	Referenzen (exemplarisch)
Erwerb und Verständnis substanziellen naturwissenschaftlichen Fachwissens durch eigenständiges Experimentieren	von Aufschnaiter und Riemeier (2005a, S. 6), Bybee (1997, S. 111), Freudig und Sauermost (2000, Bd. 5, S. 295), Girwitz (2009 a, S. 245 ff.), Gropengießer (2013, S. 284), Klautke (1990, S. 70), Lehnert und Köhler (2012 b, S. 156 f.), Moisl (1988, S. 4), Muckenfuß (1995, S. 339), Renkl (2014, S. 15 f.), Steigert und Schrenk (2012, S. 209 f.), Tesch und Duit (2004, S. 58), Wichmann und Leutner (2009, S. 117), Windt, Scheuer und Melle (2014, S. 82), Wodzinski (2010, S. 153)
Wissenschaftsverständnis und Verständnis der Anwendungen von Naturwissenschaften im Zusammenhang mit kontextbasiertem Experimentieren	Arnold, Kremer und Mayer (2014, S. 84), Berck und Graf (2003, S. 104 f.), Berck und Graf (2010, S. 17), Flick und Lederman (2006, S. ix), Gräber und Nentwig (2002, S. 15), Gräber, Nentwig und Nicolson (2002, S. 137), Hellmich und Höntges (2010, S. 70 f.), Hofheinz (2010 b, S. 8), Langlet (2013, S. 80 ff.), Lederman (2006, S. 309), Mayer und Ziemek (2006, S. 4), Nehring, Nowak, Upmeier zu Belzen und Tiemann (2015), Schwartz und Crawford (2006, S. 333)
Wissen über Naturwissenschaften und deren Abgrenzung gegenüber anderen Disziplinen	von Aufschnaiter und Riemeier (2005a, S. 8), Baumert, Bos, Brockmann, Gruehn, Klieme, Köller et al. (2000, S. 65), Bayrak, Hoffmann und Ralle (2015, S. 178), Bybee (1997, S. 117 f.), Hofheinz (2010 b, S. 9), Kircher und Dittmer (2004), Langlet (2001, S. 7), Langlet (2013, S. 96 f.), Muckenfuß (1995, S. 339), Renkl (2014, S. 12), Stäudel et al. (2010, S. 41), Urhahne, Kremer und Mayer (2008, S. 73)
Fähigkeit zum wissenschaftlichen Denken	Kerschensteiner (1963, S. 34, 60 ff., 73), Leutner, Funke, Klieme und Wirth (2005, S. 16 ff.), Löwe (1990, S. 269), Mayer (2007), Mayer, Grube und Möller (2008), Muckenfuß (1995, S. 339), Shamos (2002, S. 45 ff.)
Lebenslanges Lernen durch die eigenständige Nutzung von Naturwissenschaften	Baumert, Bos, Brockmann, Gruehn, Klieme, Köller et al. (2000, S. 60 f.), Bybee (1997, S. 111), Grygier und Hartinger (2009, S. 9), Heimann (2005, S. 50 ff.), Hofstein, Kipnis und Kind (2008, S. 60), Kerschensteiner (1963, S. 34 f.), Mayer (2007, S. 177 f.), Norris und Phillips (2003, S. 225), Sprenger und Otto (2014, S. 266)

Nutzung naturwissenschaftlichen Wissens zur Lösung von Problemen	Hellmich und Höntges (2010, S. 72), Künstling, Thillmann, Wirth, Fischer & Leutner (2008, S. 13), Sadava, Hillis, Heller und Berenbaum (2011, S. 22 ff.), Zizka (2017)
Besitz von Kenntnissen, um an gesellschaftlichen Debatten kompetent und vernünftig teilnehmen zu können, die naturwissenschaftliche Aspekte betreffen	Berkowitz, Ford und Brewer (2005, S. 239), Gott und Duggan (1995, S. 98), Sprenger und Otto (2014), Strobl (2008 a, S. 40), Weitze (2014, S. 13), Zizka (2017)
Verständnis für das Wesen der Naturwissenschaften ⁹ und deren Zusammenhang mit unserer Kultur	Bybee (1997, S. 121 f.), Girwidz (2009 a, S. 249), Gräber und Nentwig (2002, S. 11), Köller, Baumert und Neubrand (2000, S. 244 f.), Kremer, Urhahne und Mayer (2008, S. 36 ff.), Lunetta (1998, S. 253), Mayer und Ziemek (2006, S. 6), McGinn und Roth (1999, S. 15 f.), Muckenfuß (2010, S. 25)
Wertschätzung, Neugier und Staunen gegenüber den Naturwissenschaften, gefördert durch gesteigerte Lernmotivation in Verbindung mit eigenständigem Experimentieren	Anonymus (2005), Anton, Heimann und Rossa (2005, S. 12), Aufdermauer und Hesse (2006, S. 107 f.), von Aufschnaiter und Riemeier (2005 a, S. 6), von Aufschnaiter und Riemeier (2005 b, S. 61), Baumann, Simon, Wonisch und Guttenberger (2013, S. 307), Girwidz (2009 a, S. 248), Huang (2008, S. 316), Jiang und McComas (2015, S. 568), Kögel, Regel, Gehlhaar und Klepel (2000, S. 36, 44), Löwe (1990, S. 270), Lunetta, Hofstein & Clough (2007, S. 398 f.), Merzyn (2008, S. 38), Roth (2008, S. 264), Meyer-Ahrens, Meyer, Witt und Wilde (2014, S. 236), Russek, Kakoschke und Sommer (2010, S. 94 ff.), Schanze und Saballus (2011, S. 523), Schmidt und Möller (2015, S. 110), Vogt, Upmeier zu Belzen, Schröer und Hoek (1999, S. 78 ff.), Zehren, Neber und Hempelmann (2013, S. 419 ff.)
Wissen um Nutzen von und Gefahren durch Naturwissenschaften	Höttecke (2004, S. 49 f.), Keselman (2003), Rempfler und Uphues (2011 a, S. 5 ff.), Sommer und Harms (2010, S. 7)
Kritische Reflexion über und Umgang mit den Aussagen naturwissenschaftlicher Fachleute	Bybee (1997, S. 130), Hofstein et al. (2008, S. 79 ff.), Norris und Phillips (2003, S. 230), Rösch (2015), Stäudel (2004, S. 6)

Anmerkung. Manche der Dimensionen werden unter dem Terminus „*Nature of Science*-Verständnis“ subsummiert.

Daneben gibt es *weitere Bereiche*, für die Experimentieren sowie damit verbundene Aktivitäten und Kompetenzen Lernenden¹⁰ von großem Nutzen sein können und *Ziele allgemeiner Bildung* zu verfolgen helfen (vgl. Girwidz, 2009 a, S. 246 ff., 259 ff.; Mayer & Ziemek, 2006, S. 5; von Hentig in MKJS, 2004, S. 8 ff.):

⁹ Synonym werden u. a. die Bezeichnungen „Natur der Naturwissenschaften“ (Henke, 2016; Höttecke & Henke, 2010; Stäudel, 2010) oder „Nature of Science“ (in der vorliegenden Arbeit z. T. mit NOS abgekürzt; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Kremer, Specht, Urhahne & Mayer, 2014; Rehm & Stäudel, 2010) verwendet. Ausführliche Überlegungen zu Gemeinsamkeiten und Unterschieden der Bezeichnungen finden sich u. a. bei Hofheinz (2010 b).

¹⁰ In der vorliegenden Arbeit werden in den Ausführungen des Verfassers für Personen wenn möglich neutrale Formen wie „Lernende“ (für „Schülerinnen und Schüler“), „Lehrperson(en)“ oder „Lehrkraft“ bzw. „Lehrkräfte“ (für „Lehrer oder Lehrerin“ bzw. „Lehrer und Lehrerinnen“) und „Studierende“ (für „Studentinnen und Studenten“) verwendet. Abweichungen (z. B. „Schüler“, „Mädchen“) erfolgen i. d. R. nur dann, wenn – etwa bei der Beschreibung

- *Sprachförderung* und Einübung *kommunikativer Kompetenzen* (vgl. Backhaus & Braun, 2009, S. 109; Bayrak, Hoffmann & Ralle, 2015; Benke, 2011, S. 286; Fathman & Crowther, 2006, S. 4 ff.; Fechner & Schüttler, 2013; Hameyer & Streng, 1986, S. 74; Krämer, 2011, S. 23 ff.; Michalik, 2008, S. 211 f.; Muckenfuß, 1995, S. 339; Naylor, Breuer-Küppers, Curtis, Danielson, Prem-Vogt & Skiebe-Corrette, 2010; Pomerin-Götze, Schmitt-Sody & Kometz, 2011; Scheuer, Kleffken & Ahlborn-Gockel, 2010 a, S. 92 ff.; Scheuer, Kleffken & Ahlborn-Gockel, 2010 b; Stäudel, 2004, S. 5; Wichmann & Leutner, 2009, S. 118);
- Einübung *kooperativer Fähigkeiten* durch bewusste Wahl kooperativer Sozialformen (vgl. von Anton et al., 2005, S. 12; von Aufschnaiter & Riemeier, 2005a, S. 9; Muckenfuß, 1995, S. 339; Naylor et al., 2010, S. 23 ff.; Scheuer, Kleffken & Ahlborn-Gockel, 2010 a, S. 96 ff.; Welzel, Haller, Bandiera, Hammeley, Koumaras, Niedderer et al., 1998, S. 30, 37);
- Schulung *personaler Schlüsselqualifikationen* – z. B. von Sorgfalt, Präzision, Geduld und Ausdauer, Verantwortungsbewusstsein (vgl. Muckenfuß, 1995, S. 339; Pötter, Schwabe & Mühlbach, 2010, S. 18; Schließmann & Schenzer, 2005, S. 178);
- Training *metakognitiver Kompetenzen* wie „Zeitmanagement oder Strukturierung des (eigenen) Arbeitsprozesses“ (von Aufschnaiter & Riemeier, 2005a, S. 9);
- Übung *psychomotorischer* und *fachmethodisch-praktischer Fertigkeiten* sowie des *Umgangs mit Geräten und Apparaturen* (vgl. Klautke, 1997, S. 327; Mayer, 2007, S. 177 f.; MKJS, 2016 c, S. 7).

Die vorausgehenden Überlegungen führen eindrücklich vor Augen, dass Experimente nicht nur aus *didaktisch-methodischer*, sondern sogar aus *pädagogischer Perspektive* eine zentrale Rolle im Naturwissenschaftsunterricht spielen (vgl. Barzel, Reinhoffer & Schrenk, 2012, S. 103 ff.; Kremer, 2012, S. 4, 10; Mikelskis-Seifert & Euler, 2005, S. 15 f.; Randler, Ekler, Tempel & Rehm, 2015, S. 260). Studien belegen, dass Lehrkräfte (vgl. Bolte & Schulte, 2014, S. 373; Jonas-Ahrend, 2004, S. 137 f.; Meyer, 1986; Schaffer & Pfeifer, 2011, S. 10 ff.; Welzel, Haller, Bandiera, Hammelev, Koumaras, Niedderer, Robinault & von Aufschnaiter, 1998, S. 36 ff.), Fachleiter von Studienseminaren (vgl. Wüsten, Schmelzing, Sandmann & Neuhaus, 2010, S. 126) und nicht zuletzt Lernende bzw. deren Eltern (vgl. Merzyn, 2008, S. 54 ff.; Russek,

von Geschlechterunterschieden in Zusammenhang mit empirischen Befunden – Angehörige eines bestimmten Geschlechts gemeint sind oder – wie bei „Lehrerausbildung“ bzw. „Lehrerfortbildung“ – etablierte Bezeichnungen genutzt werden. Selbstverständlich sind im letztgenannten Fall wie auch bei Berufsgruppenbezeichnungen wie „Naturwissenschaftsdidaktikern“ Personen jeglichen Geschlechts gemeint.

Kakoschke & Sommer, 2010; Vogt, Upmeyer zu Belzen, Schröer & Hoek, 1999, S. 82) in vielfacher Weise ihre Wertschätzung gegenüber dem Experimentieren im Naturwissenschaftsunterricht zum Ausdruck bringen.

Was für den Naturwissenschaftsunterricht i. A. gilt (vgl. Backhaus & Braun, 2009, S. 107), wird auch in den *Fachdidaktiken der einzelnen MINT-Fächer(verbünde)* hervorgehoben: Dies zeigt ein Blick in diverse einschlägige Publikationen in Biologie¹¹, Physik¹², Chemie¹³, Technik¹⁴, Informatik¹⁵ und Mathematik¹⁶, darüber hinaus auch in Geographie¹⁷. Dementsprechend berücksichtigen die Bildungsstandards dieser Fächer(verbünde) experimentelle Kompetenzen in hohem Maße (vgl. DGfG, 2007, S. 20, 32; GI, 2008, S. 16, 19; KMK, 2004, S. 11 f., 14; KMK, 2005 a, S. 14; KMK, 2005 b, S. 6 f., 12; KMK, 2005 c, S. 9 ff.; VDI, 2004, S. 7, 9 ff., 14, 16 f.). Dass diese enorme ‚curriculare‘ Aufmerksamkeit gegenüber experimenteller Problemlösefähigkeit trotz alledem keineswegs von Anfang an selbstverständlich war, sondern vielmehr historisch gewachsen ist und durch einschneidende Ereignisse bzw. spezielle konzeptionelle Maßnahmen beeinflusst wurde und wird, zeigt der folgende Abschnitt.

1.3 Curriculare Entwicklungen, fachdidaktische Konzepte und offene Fragen

„Science as Inquiry.

Inquiry is the basis of scientific literacy,

and thus an essential component of school science programs.”

(Bybee, 1997, S. 111)

¹¹ z. B. Gropengießer (2013, S. 288), von Falkenhausen (1971, S. 108 ff.), Hedewig (1990, S. 86 f.), Killermann, Hering und Starosta (2008, S. 147 f.), Klautke (1990, S. 70), Klautke (1997, S. 323, 329), Meyer (1986, S. 302), Moisl (1988, S. 9), Staack (2010, S. 450 ff.)

¹² z. B. von Aufschnaiter (2008, S. 4 (248)), Baumert und Köller (2000, S. 292), Duit (2003, S. 6 (56)), Girwitz (2009 a, S. 244 ff.), Höttecke (2004 a, S. 269), Kircher (2010 c, S. 796), KMK (2005 c, S. 7), Muckenfuß (2010, S. 21), Tesch und Duit (2004, S. 53)

¹³ z. B. Anton, Heimann und Rossa (2005, S. 12), Heimann (2005), KMK (2005 b, S. 9), Kranz (2008, S. 112 ff.), Schaffer und Pfeifer (2011)

¹⁴ z. B. Borgenheimer und Weber (2009, S. 191), Verband Deutscher Ingenieure [VDI] (2004, S. 7 f.)

¹⁵ z. B. GI (2008, S. 5)

¹⁶ z. B. Barzel, Büchter, Lengnink und Leuders (2008), Leuders (2009, S. 70 ff.), Leuders, Naccarella und Philipp (2011), Ludwig und Oldenburg (2007, S. 4)

¹⁷ z. B. Deutsche Gesellschaft für Geographie [DGfG] (2007, S. 19), Hammann, Ganser und Haupt (2007, S. 88), Lethmate (2003, S. 42), Otto (2006, S. 128), Otto und Mönter (2015), Peter (2015, S. 45), Rinschede (2003, S. 273 ff.), Wilhelmi (2012)

Erkenntnisgewinnungsprozesse und naturwissenschaftliches Denken sensu Mayer (2007) in den Mittelpunkt von Unterricht zu stellen, um Naturwissenschaften zu vermitteln, ist kein neuer Ansatz, vielmehr gab es immer wieder entsprechende Bestrebungen (vgl. Sotiriou et al., 2012, S. 9): Das zeigt eine Retrospektive drei (vgl. Wagener, 1982, S. 425) oder fünf Jahrzehnte (vgl. Töpfer, 1966, S. 1) zurück. Aus wissenschaftshistorischer Perspektive verwundert dieser Sachverhalt nicht, wird das Experiment doch spätestens seit Galilei und Bacon (vgl. Gebhard, Höttecke & Rehm, 2017, S. 25; Robin, 2012, S. 89 ff.) sowie Mill als eine herausragende naturwissenschaftliche Erkenntnismethode angesehen (s. Abschnitt 2.3; vgl. auch Häder, 2010, S. 340). Bereits vor über hundert Jahren arbeitete der Reformpädagoge Georg Kerschensteiner 1913/14 in seinem Werk *Wesen und Wert des naturwissenschaftlichen Unterrichts* so eindrücklich wie brillant heraus, inwiefern Kompetenzen, die zum eigenständigen Problemlösen durch Experimentieren befähigen (vgl. auch LISA, 2003, S. 14; Mayer, 2007; Mayer, Grube & Möller, 2008), einen bedeutsamen Beitrag des Naturwissenschaftsunterrichts zur Bildung darstellen (vgl. auch Spörhase, 2012 b, S. 34 ff.). Angesichts der „Unerfahrenheit des Schülers in den Methoden des Forschens“ (Kerschensteiner, 1963, S. 92) plädierte er für eine „Erziehung zum logischen Denken“ als eine „wesentliche Aufgabe“ (ebd., S. 34) des Naturwissenschaftsunterrichts. Kerschensteiner (1963) betonte nicht nur den damit verbundenen Benefit für Lernende, sondern skizzierte auch die seines Erachtens notwendigen Veränderungen in der Kultur von Naturwissenschaftsunterricht. Diese große Wertschätzung Forschend-entwickelnden Lernens teilt Lunetta (1998, S. 250), der treffend zusammenfasst: „Laboratory activities have been said to offer important experiences in the learning of science that are unavailable in other school disciplines. For over a century, laboratory experiences have been purported to promote central science education goals including: understanding of scientific concepts; the development of scientific practical skills and problem-solving abilities; and interest and motivation“.

Die Annahme, Kerschensteiners reformpädagogischer Impuls habe den deutschen Naturwissenschaftsunterricht zu „K&K“-Zeiten didaktisch-methodisch revolutioniert, erweist sich indes als nicht haltbar. Im Gegensatz zu anderen Staaten wurde im deutschsprachigen Mitteleuropa an alt hergebrachten Unterrichtspraktiken festgehalten. In den Vereinigten Staaten von Amerika hingegen, um ein Beispiel zu nennen, wurden bereits vor und unmittelbar nach dem zweiten Weltkrieg in mehreren großen Reformwellen bzw. -zyklen diverse Maßnahmen zur Qualitätsentwicklung von Naturwissenschaftsunterricht, etwa durch die Neukonzipierung von Curricula oder Lehrerfortbildungen, eingeleitet und seit den 1950er-Jahren angesichts des Sputnik-Schocks systematisch vorangetrieben (vgl. Baumert et al., 2001, S. 193; Bybee, 1997, S. 5 ff.; Hartinger, 2007, S. 68; Lunetta et al., 2007, S. 401, 403 f.; Pine, Aschbacher, Roth, Jones, McPhee, Martin et al., 2006, S. 468). In Nachkriegsdeutschland brauchte es hingegen mehrere Jahrzehnte, bis sich allmählich fachdidaktische Neuerungen durchsetzen konnten (vgl. Berck, 2005, S. 52; Killermann, 1996, S. 333). Im Rahmen der Curriculumreform in den

1970er-Jahren avancierten „Kenntnis und Anwendung naturwissenschaftlicher Methoden“ zu „wichtige[n] Bildungsziele[n]“ (Hammann, 2002, S. 13). Zunehmend rückten seitdem Schüler- und Prozessorientierung (vgl. Durant, 1993, S. 132), Alltags- und Anwendungsbezug (vgl. Mandl & Kopp, 2003, S. 72) sowie eine Ausrichtung an biologischen Basiskonzepten (vgl. Beyer, 2006, S. 10 ff.; Neuhaus, Nachreiner, Oberbeil & Spangler, 2014) und der selbstbestimmten Teilhabe am gesellschaftlichen Leben mehr und mehr in den Fokus (vgl. Berck, 2005, S. 12 f., 44 ff.; Klafki, 1998, S. 239).

Lange gingen Lehrkräfte, Fachdidaktiker und Bildungspolitiker davon aus (vgl. Weinert, 2002, S. 19), der eingeschlagene Weg und der inputgesteuerte, hauptsächlich an inhaltsbezogenen Kompetenzen ausgerichtete Naturwissenschaftsunterricht (vgl. Berck & Graf, 2010, S. 73; Helmke, 2009, S. 16; Meyer, 2007, S. 150) bereite Lernende umfassend auf spätere Erfordernisse vor. Erst vergleichsweise spät, in den 1990er-Jahren, wurde hierzulande damit begonnen, den Unterrichtserfolg stichprobenartig systematisch zu evaluieren (vgl. Köller, Baumert & Bos, 2002, S. 270). Allerdings lösten erst Ende der 1990er- und Anfang der 2000er-Jahre die Befunde internationaler Schulleistungsstudien in der Bundesrepublik großes Entsetzen aus (vgl. Mayer, 2004, S. 92) – der Begriff „*PISA-Schock*“ (Herpell, 2016 b, S. 3; Reisse, 2008, S. 10; Schiepe-Tiska, Schmidtnr & Prenzel, 2014, S. 206) umschreibt anschaulich diese traumatische Ernüchterung in Form „besorgniserregender Ergebnisse“ (Martius, Delvenne & Schlüter, 2016, S. 220). Die Art des Naturwissenschaftsunterrichts förderte Lernende offensichtlich nicht in dem Maß wie erhofft bzw. angenommen (vgl. Baumert, Bos, Brockmann, Gruehn, Klieme, Köller et al., 2000, S. 26; Köller et al., 2002, S. 279).

Sowohl in TIMSS (vgl. Asselborn, 1997; Baumert, Bos, Brockmann, Gruehn, Klieme, Köller et al., 2000, S. 26; Baumert, Bos & Watermann, 2000, S. 149 ff., 155 ff.; Baumert, Lehmann, Lehrke, Schmitz, Clausen, Hosenfeld, Köller & Neubrand, 1997; Köller, Baumert & Bos, 2002, S. 278 f.) als auch in den ersten PISA-Studien (vgl. Baumert, Klieme, Neubrand, Prenzel, Schiefele, Schneider & Stanat, Tillmann & Weiß, 2001; Mayer, 2004, S. 92; Tesch & Duit, 2004, S. 55) sowie in anderen Leistungstests (vgl. LISA, 2003, S. 35 f.) zeigte sich, dass die mathematisch-naturwissenschaftliche Grundbildung deutscher Lernender im internationalen Vergleich der OECD mittelmäßig oder sogar unterdurchschnittlich ausgeprägt war. Sie hinkte den Leistungen von Gleichaltrigen in vielen anderen Ländern z. T. um mehr als einundhalb Schuljahre hinterher (vgl. Prenzel, Artelt, Baumert, Blum, Hammann, Klieme & Pekrun, 2007, S. 5). Besonders Aufgaben, die über die Reproduktion bzw. die einfache Anwendung von Wissen hinausgehen und komplexe Denkopoperationen, Modellbildung oder eigenständiges Problemlösen – z. B. in Zusammenhang mit Experimenten –, wissenschaftliches Denken und begründetes Schlussfolgern benötigen, überforderten viele Lernende in der Bundesrepublik (vgl. Baumert, Bos, Brockmann, Gruehn, Klieme, Köller et al., 2000, S. 26; Baumert, Bos & Watermann, 2000, S. 187; Collet, 2009, S. 29; Köller et al., 2002, S. 279; Mayer, 2004, S. 92 f.;

Stark, Graf, Renkl, Gruber & Mandl, 1995, S. 290). Dies betraf laut TIMSS/III auch Lernende in der Oberstufe (vgl. Baumert, Bos, Brockmann, Gruehn, Klieme, Köller et al., 2000, S. 26).

Dieses unerwartet schlechte bzw. mittelmäßige Abschneiden vieler deutscher Schülerinnen und Schüler nahmen und nehmen Bildungspolitik und Naturwissenschaftsdidaktik zum Anlass, *Unterrichtsforschung* und Maßnahmen zur *Qualitätsentwicklung von Lehr-Lernprozessen* zu intensivieren (vgl. Giertz, 2017, S. 4; Mayer, 2004). Seit Ende der 1990er-Jahre, also nach den TIMSS-Befunden, wurden zahlreiche *Maßnahmen der Schul- und Unterrichtsentwicklung* sowie Optimierung der Kultur von Lernaufgaben eingeleitet (vgl. Labudde & Möller, 2012, S. 30) und Formen der *systematischen Diagnostik und Evaluation* etabliert (vgl. Mayer, 2004, S. 92, 96). Zu dieser Qualitätsoffensive gehör(t)en „KMK-Modellversuch[e] zur klasseninternen Differenzierung“ (Köller et al., 2002, S. 280), Projekte wie SoLe („Selbstorganisiertes Lernen“), das BLK-Modellversuchsprogramm SINUS („Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“, vgl. LISA, 2003; Knickmeier, 2009, S. 23; Parchmann, Bernholt, Christiansen, Fach, Freienberg, Kandt et al., 2008, S. 148 f.; Stäudel, 2004, S. 4; Stäudel, 2014, S. 12 ff.; Widodo & Duit, 2004, S. 235), *Kontext-Ansätze* wie *bik*, *ChiK* und *piko* (s. Abschnitt 4.9.6.2), später auch schulartenbezogene Diagnose- und Vergleichsarbeiten auf Länderebene sowie bundesweite Datenerhebungen wie der IQB-Ländervergleich 2012 (vgl. Pant, Stanat, Schroeders, Roppelt, Siegle & Pöhlmann, 2013; Schiepe-Tiska, Schmidtner & Prenzel, 2014, S. 202). Bei allen unterrichtskonzeptionellen Initiativen spiel(t)en Formen des *Forschenden Lernens* eine wichtige Rolle (vgl. Benke, 2011, S. 284; Jank & Meyer, 2009, S. 311 f.; Mayer & Ziemek, 2006; Messner, 2009a und 2009b; Reitinger, 2013): „Dem Experimentieren als zentraler naturwissenschaftlicher Methode kommt [dabei] besondere Bedeutung zu“ (Labudde & Möller, 2012, S. 14; vgl. auch Seidel, Prenzel, Wittwer & Schwindt, 2007, S. 158). Manche Naturwissenschaftsunterrichtskonzepte stellen Erkenntnisgewinnung sogar in den Mittelpunkt der naturwissenschaftlichen Fächer(verbünde), beispielsweise bereits vor über zwei Jahrzehnten *Science as Inquiry* in den USA (vgl. Bybee, 1997, S. 111) oder der integrative Fächerverbund *Naturwissenschaftliches Arbeiten* an baden-württembergischen Realschulen im auslaufenden Bildungsplan von 2004 (vgl. MKS, 2004, S. 96). Heutzutage sind viele Naturwissenschaftsdidaktiker davon überzeugt, dass bereits sowohl im Primar- als auch im Vorschulbereich experimentiert werden soll (vgl. Windt, Scheuer & Melle, 2014, S. 70). Bestimmte *Unterrichtsprinzipien* charakterisieren die genannten Programme, so z. B.

- der systematische Erwerb spezifischer experimenteller Kompetenzen kombiniert mit *kumulativem Lernen* bei zunehmendem Anforderungsgrad zum schrittweisen Aufbau experimenteller Problemlösefähigkeit i. S. eigenständigen Experimentierens (vgl. LISA, 2003, S. 14 ff.);

- *Problemorientierung*, in authentischen *Lernkontexten* verortet (vgl. Demuth et al., 2008, S. 5; Hammann & Prenzel, 2008, S. 69; Mayer, 2004, S. 94; Parchmann, Ralle & Di Fuccia, 2008, S. 16);
- vermehrt *Anwendungs- und Problemlöse-* anstelle von reinen *Reproduktionsaufgaben* (vgl. Demuth et al., 2008, S. 5; Hammann & Prenzel, 2008, S. 69; Parchmann, Ralle & Di Fuccia, 2008, S. 13; Schiepe-Tiska, Schmidtner & Prenzel, 2014, S. 202).

McGinn und Roth (1999, S. 22) brachten prägnant auf den Punkt, was man lange Zeit nicht in *dem* Maß wahrhaben wollte: „Standard textbooks, cookbook laboratory assignments, and teacher lectures provide insufficient opportunities for students to develop competencies that will lead to competent participation and civic responsibility in a society infused with science and technology“.

Vor diesem Hintergrund erscheinen heute Schülerexperimente, die nicht als striktes Befolgen vorgegebener rezeptartiger Anweisungen (vgl. Holliday, 2006, S. 204; Kerschens- steiner, 1963, S. 93; Wagener, 1982, S. 427), sondern als „*hands-on*“- und „*minds-on*“- Aktivitäten konzipiert sind und umgesetzt werden (vgl. Barzel, Reinhoffer & Schrenk, 2012, S. 111 f.; Bybee, 2006, S. 9; Hammann, Ganser & Haupt, 2007, S. 88; Hammann & Mayer, 2012, S. 284; Mayer, 2004, S. 97; Mikelskis-Seifert & Euler, 2005, S. 17), als eine geeignete Methode, die kognitiv anspruchsvolleren und in den Schulleistungsstudien lediglich als ‚moder- at ausgeprägt‘ attestierten kognitiven Kompetenzen zu fördern (vgl. Heimann, 2005, S. 50, 72; Otto & Mönter, 2015, S. 2 f.; Pfeifer, 2006, S. 12; Schiepe-Tiska, Schmidtner & Prenzel, 2014, S. 206; Stäudel, 2004, S. 6; Wirth, Thillmann, Künsting, Fischer & Leutner, 2008, S. 361; Zehren et al., 2013, S. 422): Zumal sich Experimente, so die landläufige Meinung, bestens eignen, die in der dritten PISA-Studie betrachteten, im Folgenden aufgelisteten Komponenten naturwissenschaftlicher Grundbildung zu thematisieren und zu fördern: „Fragestellungen zu erkennen, die mit naturwissenschaftlichen Zugängen bearbeitet werden können, naturwissen- schaftliche Phänomene zu beschreiben, vorherzusagen und zu erklären und naturwissen- schaftliche Evidenz zu nutzen und zu interpretieren, um Entscheidungen zu treffen“ (Prenzel et al., 2007 b, S. 5; vgl. auch Hammann, 2006 b, S. 134 f., 158 ff.; Hammann & Prenzel, 2008, S. 67 f.; Widodo & Duit, 2004, S. 235).

Moderater Erfolg scheint die Gültigkeit dieser Annahme zu bestätigen: In den nachfol- genden PISA-Studien verbesserte sich die Performanz an deutschen Schulen zusehends (vgl. Hammann & Prenzel, 2008, S. 70 f., 73 f.; Prenzel, Artelt et al., 2007 b, S. 5 ff.; Schiepe- Tiska, Schmidtner & Prenzel, 2014, S. 203 ff.). Allerdings: Andreas Schleicher, OECD-Direktor und Koordinator für die internationalen PISA-Studien, ist nur einer von vielen Fachleuten, wel- che die Notwendigkeit betonen, Bildungsreformen und Qualitätsoffensiven fortzuführen

(vgl. Herpell, 2016 b, S. 3). Die PISA-Studie von 2015 offenbarte, dass sich die durchschnittlichen Leistungen der deutschen Schüler im Bereich der Naturwissenschaften seit 2006 kaum verbesserten (vgl. Reiss, Sälzer, Schiepe-Tiska, Klieme & Köller, 2016, S. 4), obwohl die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit eines der mit der Einführung von Bildungsstandards verbundenen Hauptziele darstellte (vgl. Walpuski, Kampa, Kauertz & Wellnitz, 2008, S. 323). Um mit Windt, Scheuer und Melle (2014, 2014, S. 70) zu sprechen: „[...] Bildungspläne alleine bedeuten noch keine gute Bildung“. Da die 15-Jährigen bei der Studie von 2006 noch nicht Unterricht gemäß der Bildungsstandards (vgl. KMK, 2005 a) erfahren haben, ist die Frage nach möglichen Ursachen für die schleppende Qualitätsentwicklung seit der dritten PISA-Studie nicht einfach zu beantworten. Es stellen sich u. a. folgende Fragen:

- Wurden die in die Wege geleiteten Reformen im Naturwissenschaftsunterricht trotz bildungspolitischer Erlasse *noch immer nicht umfassend umgesetzt*? Woran könnte das liegen – an mangelnden Angeboten in allen drei Phasen der Lehrerausbildung oder an fehlenden Anregungen in *Medien* wie Schulbüchern oder Lehrerhandreichungen?
- Wurde es – aus welchen Gründen auch immer – versäumt, „vorhandene *Forschungserkenntnisse [schnell] in die alltägliche Unterrichtspraxis [zu] implementieren*“ (Paul & Groß, 2016, S. 70; Hervorhebung durch den Verfasser)?

Oder, falls die jeweiligen Impulse doch bereits wie geplant Einzug in die Unterrichtsgestaltung gehalten haben sollten:

- Sind die didaktisch-methodischen Empfehlungen entweder aufgrund rein konzeptioneller Überlegungen (die *empirisch nicht geprüft* wurden) oder angesichts *eingeschränkt übertragbarer Befunde* aus naturwissenschaftsdidaktischer Unterrichtsforschung weniger effektiv als vermutet? Achteten diverse Studien u. U. nicht ausreichend auf die *externe, v. a. ökologische Validität* ihrer Untersuchungen (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 53; Rost, 2007, S. 114 f.), indem z. B. nicht Probanden mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen (z. B. allgemeine kognitive Leistungsfähigkeit, Schularten) miteinbezogen wurden?
- Ist die geringe Effektivität eine Folge mangelhafter *Professionalität der Unterrichtenden* – sind etwa deren didaktisch-methodischen oder gar fachwissenschaftlichen Fähigkeiten nicht (auf) ausreichend (aktuellem Stand), um die Empfehlungen zu realisieren?
- *Überfordert* offenes Experimentieren einen Großteil der Lernenden stärker als vermutet – behindert ergo die ungewohnte und wenig vorbereitete anspruchsvolle neue Aufgabenkultur den Aufbau der interessierenden Kompetenzen?

- Wie wirken sich stärkere, kognitiv womöglich sehr herausfordernde *Problemorientierung* und der allenthalben propagierte, auch zeitintensive *Kontextbezug* auf Lernprozesse aus? Ergibt sich u. U. eine enorme *kognitive Belastung*, welche die Verarbeitung der eigentlich im Mittelpunkt stehenden Kompetenzen erschwert?

Die große Bandbreite dieser Fragen offenbart, dass ein komplexer Konnex zwischen bildungs- und wissenschaftspolitischen sowie schulischen Rahmenvoraussetzungen, unterrichtlichen und individuellen Bedingungsfaktoren sowie Zielkriterien existiert, den es weiter aufzudröseln und differenziert zu beleuchten gilt (s. Kapitel 5 und 7).

In dieser Arbeit wird eine Annäherung an Antworten auf manche dieser Fragen auf der Grundlage empirischer Befunde aus dem Forschungsprojekt des Verfassers (vgl. Kapitel 6 und 7, s. auch Tab. 6-1) versucht. Die genannten Fragen weisen direkt auf wichtige Bereiche der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung hin (s. Abschnitt 1.5). Kausalitätsüberlegungen sollten darüber hinaus auch Konsequenzen der *curricularen Innovationen* nach 2004 (vgl. KMK, 2005 a) in den Blick nehmen, die im Fokus des folgenden Abschnitts stehen.

1.4 Die Bildungsplan-Reformen von 2004 und 2016: Chancen und Klärungsbedarf

„Die Einführung von Bildungsstandards soll die Vergleichbarkeit der Ergebnisse erleichtern, die Unterscheidung von Kerncurriculum und Schulcurriculum stärkt die pädagogische Selbstständigkeit in der Gestaltung der Lernkultur. [...] dieser Bildungsplan ist [...] ein pädagogischer Meilenstein in der Entwicklung unserer Schulen.“

(Annette Schavan, damalige baden-württembergische Kultusministerin, in MKJS, 2004, S. 5)

Im Jahr 2004 verabschiedete die deutsche Kultusministerkonferenz in den naturwissenschaftlichen Fächern outcome-bezogene *Bildungsstandards* (vgl. KMK, 2005 a, S. 3). Dabei handelte es sich um eine so genannte Top-down-Strategie der Implementation von Curricula (vgl. Gräsel & Parchmann, 2004 b, S. 198): Für die Fächer Biologie, Chemie und Physik wurden bundesweit Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten verbindlich festgelegt, die bei Lernenden bis zum Ende bestimmter Klassenstufen entwickelt bzw. aufgebaut sein sollen (vgl. Meyer, 2007, S. 170; Pant, Stanat, Schroeders, Roppelt, Siegle & Pöhlmann, 2013, S. 17; Spörhase, 2012 b, S. 25). Welche herausragende Bedeutung und große Wertschätzung seither mit fachgemäßen Denk- und Arbeitsweisen verbunden sind, bezeugt der Kompetenzbereich *Erkenntnisgewinnung*, der neben den anderen Kompetenzbereichen *Fachwissen*,

Kommunikation und *Bewertung* eine der vier gleichberechtigten Säulen der Kompetenzausrichtung darstellt (vgl. KMK, 2005 a, S. 7, 10 ff.). Diese sind auch in die kürzlich neu eingeführte nächste Bildungsplangeneration übernommen worden (vgl. MKJS, 2016 a, b, c).

Zahlreiche prozessbezogene Bildungsstandards in den naturwissenschaftlichen Fächer(verbünde)n für den Mittleren Schulabschluss betreffen *Teilkompetenzen des Experimentierens* (vgl. Emden & Baur, 2016, S. 3; KMK, 2005 a, S. 10, 14; MKJS, 2016 c; Nawrath, Maiseyenko & Schecker, 2011, S. 42).

Mit dem bildungspolitischen Paradigmenwechsel von der Input- hin zur Outputorientierung ging auch eine größere Gestaltungsfreiheit der Schulen einher, z. B. hinsichtlich der Auswahl von Domänen bzw. konkreter Lernkontexte, der freien Zuordnung von darin verorteten inhaltsbezogenen Kompetenzen (Fachwissen) zu prozessbezogenen Bildungsstandards (z. B. des Kompetenzbereichs *Erkenntnisgewinnung*; vgl. KMK, 2005 a, S. 7; MKJS, 2004, S. 97 ff.) sowie Vertiefungs- und Ergänzungsmöglichkeiten im Rahmen des ca. ein Drittel der Unterrichtszeit umfassenden Schulcurriculums (vgl. von Hentig, in MKJS, 2004, S. 17 f.). Prinzipiell begrüßten auch viele Lehrkräfte und Schulleitungen die ihnen zugedachte größere Autonomie hinsichtlich der Gestaltung von Schulcurricula und deren konkreten didaktisch-methodischen Umsetzung (vgl. Mayer, 2004, S. 94).

Im Rückblick auf die etwas abrupte Einführung von per se guten Ansätzen der Schul- und Qualitätsentwicklung stellt sich allerdings die Frage, wie gelungen die konkrete Formulierung der Bildungsstandards tatsächlich war. Nicht nur die Lehrkräfte fühlten sich anfangs überfordert, weil die Schulkollegien nur mäßig auf die Neuerungen vorbereitet wurden und Niveau-konkretisierungen für einzelne Bildungsstandards (vgl. Schavan in MKJS, 2004, S. 6) sowie Messinstrumente zur individuellen Kompetenzdiagnostik und zur Evaluation von Unterricht z. T. erst zeitgleich oder sogar erst später entwickelt und zur Verfügung gestellt wurden.

Trotz der Legitimation verbindlicher Bildungsstandards (KMK, 2005 a) und der Vorzüge von Autonomie waren damit auch konkrete Schwächen und Herausforderungen verbunden: Viele der output-orientierten Standards sind unpräzise (vgl. Maiseyenko, 2014, S. 2; Meier & Wellnitz, 2013, S. 4; Schecker in Labudde, Duit, Fickermann, Fischer, Harms, Mikelskis, Schecker, Schroeter, Wellensiek & Weiglhofer, 2009, o. S.; Suwelack, 2011, S. 63) und im Hinblick auf die zugrundeliegenden anforderungsspezifischen Kompetenzen, deren Niveaustufen und Binnenstrukturen (vgl. Hartig & Klieme, 2006, S. 129 f.; Klieme & Hartig, 2008, S. 17) undifferenziert formuliert (vgl. Meyer, 2007, S. 171; Tiemann et al., 2011, S. 258; Ziener & Kessler, 2012, S. 24). Dies erschwert sowohl die Operationalisierung im Rahmen der Performanzdiagnostik (s. Abschnitte 5.2 und 5.3; vgl. Nehring, Stiller, Nowak, Upmeyer zu Belzen & Tiemann, 2016,

S. 78; Schecker et al., 2016, S. 211) als auch die spezifische Förderung (vgl. ebd., S. 79). Die theoretische Fundierung bzw. Bezüge zu empirisch geprüften Kompetenzmodellen fehlen i. d. R. (vgl. Maiseyenko, 2014, S. 2, 168; Vorholzer et al., 2016, S. 27, 30): „Zwar wies auch der baden-württembergische Bildungsplan von 2004 einen starken Bezug zum Kompetenzkonzept auf, er konnte damals aber noch nicht auf die bildungstheoretischen, pädagogischen und fachdidaktischen Diskussionen des Kompetenzverständnisses sowie die schulpraktischen Erfahrungen zurückgreifen, die in den Jahren nach Einführung der KMK-Bildungsstandards gesammelt wurden“ (Pant, 2016, S. 4). Mit „planen einfache Experimente“ (= Bildungsstandard E6a; KMK, 2005 a, S. 14) sei nur ein Beispiel genannt, wo ein Standard offensichtlich zu allgemein und diffus formuliert wurde (vgl. auch Emden & Sumfleth, 2012, S. 68). Allein diese Komponente experimenteller Problemlösefähigkeit könnte nach Schwichow, Christoph, Boone & Härtig (2016) in wiederum vier Teilfähigkeiten differenziert werden.

Darüber hinaus fehl(t)en den Lehrpersonen input- und prozessorientierte Impulse, die sich auf kompetenzspezifisch geeignete Unterrichtsinhalte und die konkrete didaktisch-methodische Gestaltung effektiver kompetenzförderlicher Lernumgebungen beziehen (vgl. Harms & Schroeter in Labudde, Duit, Fickermann, Fischer, Harms, Mikelskis et al., 2009, o. S.; Meyer, 2007, S. 171; Schecker in Labudde et al., 2009, o. S.). Somit klafft eine große Lücke zwischen dem *intendierten* und dem *implementierten Curriculum* (vgl. Baumert, Bos & Watermann, 2000, S. 187; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012, S. 197). Dieser Sachverhalt könnte *eine* Ursache für die lediglich moderate Verbesserung der Leistungen deutscher Schüler in der Bearbeitung anspruchsvollerer Anwendungs- und Problemlöseaufgaben darstellen (s. Abschnitt 7.12; vgl. auch Gräsel & Parchmann, 2004 b, S. 199 f.).

Weitere Gründe könnten begrenzte Akzeptanz bzw. zeitlich stabile traditionellere professionsbezogene subjektive Kognitionen auf Seiten vieler Lehrkräfte, lückenhafte Unterstützung, unzureichende Fortbildungsangebote und sonstige schlechte institutionelle und strukturelle Rahmenbedingungen sein (vgl. Gräsel & Parchmann, 2004 a, S. 178; Gräsel & Parchmann, 2004 b, S. 200 ff.).

Für die nur langsam ansteigende Performanz deutscher Probanden sind allerdings sicherlich nicht nur defizitäre institutionelle Bedingungen, bildungspolitische Vorgaben und falsche didaktisch-methodische Entscheidungen einzelner Lehrpersonen ursächlich (vgl. Bybee, 1997, S. 118; LISA, 2003, S. 8 ff.; Tesch & Duit, 2004, S. 62, 65). Auch weisen die *Erkenntnisse naturwissenschaftsdidaktischer Forschung* zu effektiver Kompetenzförderung noch Lücken auf, wie an anderer Stelle en detail aufgezeigt wird (s. Abschnitte 4.13, 6.1.7, 6.2.1, 6.3.1):

„[...] die Frage, wie sich die Fähigkeit des Experimentierens entwickelt und wie sie im Unterricht gefördert werden kann, [ist] noch ein aktuelles Forschungsfeld [innerhalb der Naturwissenschaftsdidaktiken]. [...] Die sinnvolle Einbindung von Experimenten in den Unterrichtsprozess und die Förderung naturwissenschaftlicher Arbeits- und Denkweisen einschließlich der Förderung eines Verständnisses über den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess bleiben Forschungsdesiderata“ (Labudde & Möller, 2012, S. 14 f.).

Dem Wunsch vieler Lehrkräfte nach mehr Ausführlichkeit, Präzision und konkreteren Hilfestellungen kommt der in Baden-Württemberg vor kurzem eingeführte *neue Bildungsplan* (MKJS, 2016 a, b, c, d) mehr entgegen als sein Vorgänger (MKJS, 2004). Hier ist die Zuordnung zwischen in Bildungsstandards festgehaltenen inhalts- und prozessbezogenen Kompetenzen vorgegeben. Experimentelle wissenschaftsmethodische Kompetenzen spielen weiterhin eine bedeutende Rolle. Im Bildungsplan für den Fächerverbund „Biologie – Naturphänomene und Technik“ (BNT) in der Orientierungsstufe der Sekundarstufe I in Baden-Württemberg ist ein ganzer integrativer Themenbereich dem Kennenlernen von „Denk- und Arbeitsweisen der Naturwissenschaften und der Technik“ gewidmet (MKJS, 2016 d, S. 11), welcher u. a. auch die Planung eigener Experimente beinhaltet (vgl. ebd., S. 8, 12). Dabei sollen die Lernenden „unterschiedliche Fachmethoden an konkreten Inhalten handlungsorientiert“ kennenlernen und einüben (ebd., S. 5). Bei der Lektüre fällt auf, dass Experimentieren in den inhaltsbezogenen Themenbereichen „Wirbeltiere“ (ebd., S. 22 ff.), „Wirbellose Tiere“ (ebd., S. 26 ff.), „Pflanzen“ (ebd., S. 28 f.) und „Ökologie“ (ebd., S. 30) bis auf die Ausnahme „Keimungsexperimente planen, durchführen und auswerten“ (ebd., S. 28) nicht vorgesehen ist. Das bedeutet, dass z. B. in der Domäne *Ökologie* keinerlei andere Experimente als eben das zur Samenkeimung (in Abwandlung, z. B. in Verbindung mit Stoffeintrag) vorgesehen sind, obwohl die Leitperspektive „Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE)“ einen zentralen Schwerpunkt des Bildungsplanes darstellt (vgl. MKJS, 2016 a, S. 3 f.): Da der Domäne *Ökologie* als einer der drei Dimensionen nachhaltiger Entwicklung (vgl. Hauenschild & Bolscho, 2005, S. 34 ff.) per se große Bedeutung zukommt, ist es verwunderlich, dass gerade hier das Experimentieren eher ‚stiefmütterlich‘ behandelt zu werden scheint. In diesem Zusammenhang ist bereits mehrfach der Terminus „*Domäne*“ gefallen. Da er in der vorliegenden Arbeit eine zentrale Rolle spielt, wird er an dieser Stelle in Box 1-1 kurz erläutert.

Box 1-1. Klärung des Begriffs „Domäne“

Das Wort „Domäne“ ist dem Lateinischen entlehnt (*dominium* = „Herrschaft“/-sbereich; vgl. Wahrig, 1993, S. 355). Darunter kann man auch ein abgrenzbares inhaltliches Fachgebiet verstehen, also einen Wissensbereich oder -ausschnitt, der als Kontext herangezogen wird (vgl. Arnold, Kremer & Mayer, 2015, S. 101; Klieme, Funke, Leutner, Reimann & Wirth, 2001,

S. 187). Im Einklang mit Bercks und Grafs (2010, S. 17) Ausführungen zu den Charakteristika einer Wissenschaft kann somit – je nach wissenshierarchischer Ebene – eine Wissenschaft bzw. ein Fach oder eine Disziplin oder Teildisziplin der Wissenschaft gemeint sein (vgl. Zimmerman, 2000, S. 102). So ließe sich – je nach Betrachtungszusammenhang bzw. Begriffsverständnis – z. B. prinzipiell die Wissenschaft Biologie oder aber eine ihrer Teildisziplinen, z. B. die Ökologie, als Domäne bezeichnen. Reisse (2008, S. 25) definiert „Domäne“ für den schulischen Kontext allgemeiner als „Gegenstandsbereich [...], d. h. das jeweilige Unterrichtsfach, Thema, Lern-, Problem- oder Handlungsfeld“. In der vorliegenden Arbeit und den Einzelbeiträgen des Verfassers wird „Domäne“ meist mit Ökologie bzw. spezieller mit Waldökologie assoziiert.

Beim nachhaltigen Erwerb von Umweltwissen spielen Unterbruner (2013, S. 181) zufolge „experimentelle Arbeiten“ eine bedeutende Rolle. Auch der Bildungsplan (MKJS, 2016 a, S. 3) weist darauf hin, wie wichtig der Beitrag des Faches Biologie im Hinblick auf ein „grundlegendes Verständnis von Prozessen in Ökosystemen“ sei, welches durch anschauliche Experimente unterstützt werden könnte: „Auswirkungen von Eingriffen des Menschen auf die Umwelt können umso besser erklärt werden, je genauer Wechselwirkungen und Stoffkreisläufe bekannt sind“ (ebd.). Zur Erforschung und zur Darstellung solcher Wechselwirkungen bzw. Kausalbeziehungen können Experimente als Lernaktivität anschaulich herangezogen werden. Im Fach Biologie, das ab Klassenstufe 7 an die biologischen Themenbereiche des Fächerverbundes BNT anknüpft, beinhalten die Bildungsstandards für den prozessbezogenen Kompetenzbereich *Erkenntnisgewinnung* auch tatsächlich explizit Kompetenzen der selbstständigen Formulierung von Fragen und Hypothesen, Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten sowie der Verallgemeinerung ihrer Befunde (vgl. MKJS, 2016 a, S. 8).

Ein Blick in den Themenbereich „Ökologie“ (MKJS, 2016 a, S. 25 ff.) verrät jedoch, dass auch hier keinerlei Experimente vorgesehen sind, auch nicht zu Wechselwirkungen (z. B. zwischen abiotischen und biotischen Systemelementen) oder zu Stoffkreisläufen (z. B. zum Stoffabbau).

Angesichts dessen, dass in der Fachwissenschaft *Biologie* und der Teildomäne *Ökologie* Experimente eine zentrale Erkenntnisgewinnungsmethode darstellt (s. Kapitel 2 und Abschnitt 6.1.3), stellt sich vor dem hier beschriebenen Hintergrund die Frage, weshalb die Bildungsplan-Autoren dem nicht Rechnung tragen. Von Seiten der Fachdidaktik ist daher auf der Grundlage evidenzbasierter Unterrichtsforschung zu klären, ob die Domäne *Ökologie* grundsätzlich nicht geeignet ist, um experimentelle Problemlösefähigkeit zu fördern, einzuüben und dabei in optimaler Weise wichtige, damit verbundene Sachverhalte und Charakteristika zu reflektieren. Auf diese Weise sollte untersucht werden, ob der Bildungsplan am Ende gar seinem theoretischen Bildungspotential nicht gerecht wird, oder aber ob diese Auslassung einer so bedeutenden Erkenntnismethode angemessen ist.

Da die *Eignung* der Domäne *Ökologie* für die *Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit* insgesamt bislang empirisch wenig untersucht wurde (s. Abschnitt 4.13.4), widmet sich ihr die vorliegende Arbeit schwerpunktmäßig.

Zusammenfassend ist in diesem und dem vorausgehenden Abschnitt offenbar geworden, dass Erkenntnisse aus der fachdidaktischen *Lehr-Lern-* bzw. speziell *Unterrichtsforschung* für die weitere Steigerung der Qualität von Lehr-Lernprozessen unabdingbar sind (vgl. Gräsel & Parchmann, 2004 b, S. 197), und dass auf zahlreiche Fragen noch Antworten gefunden werden müssen (vgl. Reiss & Ufer, 2010, S. 199; Schecker, Parchmann & Krüger, 2014, S. 6; Spörhase, 2012 a, S. 17 ff.). Im Folgenden werden vor diesem Hintergrund zentrale *Schwerpunkte der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (vgl. Spörhase, 2012 a, S. 14 ff.) herausgearbeitet und auf das Ziel der Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit bezogen.

1.5 Arbeitsbereiche naturwissenschaftsdidaktischer Forschung zum Experimentieren

„[...] man lernt nicht Experimentieren durch Zuschauen.

Wie man Schwimmen nur durch Schwimmen und Reiten nur durch Reiten lernen kann und nicht durch Vorschriften, so lernt man Experimentieren nur durch Experimentieren und nicht durch Anweisungen.“

(Kerschensteiner, 1963, S. 126 f.)

Dieses Zitat Kerschensteiners aus dem Jahr 1913/14 mutet auf den ersten Blick etwas trivial an – kaum jemand würde bestreiten, dass eigene praktische Erfahrungen für den Aufbau einer bestimmten Kompetenz unabdingbar sind. Schließlich umfassen Kompetenzen immer Wissens-, Reflexions- und Handlungskomponenten (vgl. Meyer, 2007, S. 148, 157). Doch bleibt zu klären, auf welche spezifischen Erfahrungen es genau ankommt und welche Faktoren die Kompetenzentwicklung dabei auf welche Weise beeinflussen.

Naturwissenschaftsdidaktische Forschung zielt in erster Linie darauf ab, direkte und mittelbare Bedingungsfaktoren für das effektive und nachhaltige Gelingen von Vermittlungs- und Lernprozessen – beispielsweise bei der Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit – zu analysieren, zu beschreiben und zielorientiert zu beeinflussen (vgl. Spörhase, 2012 a, S. 12 ff.). Im Hinblick auf die Intention, Lernende beim Aufbau experimenteller Problemlösefähigkeit op-

timal zu unterstützen, spielen diverse *Aufgabenbereiche* bzw. *Arbeitsfelder* innerhalb der Naturwissenschaftsdidaktik eine wichtige Rolle (vgl. Bybee, 1997, S. 19, 25; Messner, 2009 a, S. 15 ff.; Rieß, Wirtz, Schulz & Barzel, 2012, S. 353, 362 ff.; Spörhase, 2012 a, S. 14 ff.). Diese werden nun im Überblick vorgestellt:

Eine Aufgabe der Naturwissenschaftsdidaktik betrifft die *Beschreibung, Darstellung und Festlegung von Kompetenzen*, die im Unterricht gefördert werden sollen, ergo so genannter *Zielkriterien* (s. Abb. 4-1), ggf. in Form von Bildungsstandards. Diese müssen legitimiert werden können, also einen bedeutsamen Bildungswert besitzen (vgl. Jank & Meyer, 2009, S. 205; Schaub & Zenke, 1995, S. 77). Normierte, empirisch fassbare Kompetenzen und deren präzise Formulierung sind Voraussetzungen für gute Bildungsstandards (vgl. Adamina, Labudde, Gingins et al., 2008, S. 143 ff.; Mayer, 2004, S. 93; Parchmann & Kaufmann, 2006, S. 8).

Die Grundlage dafür liefern Befunde aus einem anderen Forschungsfeld: der aus der Theorie abgeleiteten *und* evidenzbasierten, also empirisch überprüften *Modellierung* von (z. B. experimentellen) Kompetenzen (vgl. Tiemann, Koppelt & Nehring, 2011, S. 257). *Kompetenzmodelle* beschreiben deren Strukturen und Niveau- bzw. Entwicklungsstufen (vgl. Adamina et al., 2008, S. 79 ff.; Hammann, 2004; Kauertz, Fischer, Mayer, Sumfleth & Walpuski, 2010; Mayer & Wellnitz, 2014, S. 19 ff.; Parchmann & Kaufmann, 2006, S. 8; Reiss & Ufer, 2010, S. 205; Schecker & Parchmann, 2006; Schecker, Parchmann & Krüger, 2014, S. 8; Schrader, Helmke & Hosenfeld, 2008, S. 9). Sie bilden die essentielle Basis für curriculare Festlegungen und Formulierungen, für Fördermaßnahmen und Kompetenzmessungsverfahren und -instrumente (s. Kap. 5; vgl. Nawrath, Maiseyenka & Schecker, 2011, S. 43).

Einen weiteren wichtigen Arbeitsbereich der Fachdidaktik stellen die Konzeption und Erprobung – also Implementation und Evaluation (vgl. Gräsel & Parchmann, 2004 a, S. 171; Gräsel & Parchmann, 2004 b, S. 197) – von didaktisch-methodischen Maßnahmen in spezifischen *Lernumgebungen* inklusive *Medien* (vgl. Koenen, Emden & Sumfleth, 2017, S. 1) zur Förderung dieser Kompetenzen dar, also die *Unterrichtsforschung* (vgl. Spörhase, 2012 a, S. 14, 17 ff.; Wenning & Sandmann, 2016, S. 12 f.). Nachdem im anglo-amerikanischen Sprachraum bereits seit mehreren Dekaden zu experimentellen Kompetenzen und den Gelingensbedingungen für deren Training geforscht wurde (z. B. Carey, Evans, Honda, Jay & Unger, 1989; Chen & Klahr, 1999; Klahr & Dunbar, 1988; Klahr, Fay & Dunbar, 1993; Labudde & Möller, 2012, S. 28; Schauble, Klopfer & Raghavan, 1991; Schecker in Labudde et al., 2009, o. S.) und Unterrichtskonzepte entwickelt und implementiert wurden (vgl. Moisl, 1988, S. 5), haben sich nach den Ergebnissen von TIMSS und PISA auch Fachdidaktikerinnen und Fachdidaktiker im deutschsprachigen Raum intensiver diesem Feld gewidmet. Im Rahmen

der Unterrichtsforschung spielen auch beeinflussende Faktoren wie Eigenschaften der Lernenden oder äußere Rahmenbedingungen eine Rolle.

Wie in Abschnitt 1.4 erwähnt, sahen die Bildungspläne von 2004 (KMK, 2005 a) einen großen Entscheidungs- und Gestaltungsspielraum für Unterricht vor. Lehrkräfte waren dabei nicht selten überfordert, welche *Fachwissensinhalte* man im Hinblick auf die Kompetenzförderung am besten mit den speziellen prozessbezogenen Bildungsstandards aus den Kompetenzbereichen *Erkenntnisgewinnung*, *Kommunikation* und *Bewertung* verknüpfen sollte. Die *Präzisierung curricular sinnvoller naturwissenschaftlicher Inhalte* im Kompetenzbereich *Fachwissen* und *Empfehlungen für die Bezüge zwischen den Kompetenzbereichen* sind somit ebenfalls eine Aufgabe der Fachdidaktik: Fachdidaktische Forschung muss sich angesichts der kompetenzorientierten Standards und der Angewiesenheit der Förderung prozessbezogener Kompetenzen auf deren inhaltliche Einbettung mit der *Eignung verschiedener Domänen* im Zusammenhang mit dem Aufbau experimenteller Kompetenzen befassen. Zwar ist zu lesen: „In nahezu jeder Thematik bietet sich die Möglichkeit, Experimente zu planen, durchzuführen und auszuwerten“ (Heger, Imhoff, Jobert, Knoll, Rauser, Schrank & Steffen, 2016, S. 6). Gleichwohl gilt es z. B. im Besonderen zu klären, welche Inhalte für die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit oder spezieller Komponenten „besonders geeignet bzw. zwingend notwendig sind“ (Hedewig, 1990, S. 87; vgl. auch Parchmann, Ralle & Di Fuccia, 2008, S. 9, 22), und welche Inhalte die Förderung eher erschweren bzw. (fast) unmöglich machen. Entsprechende Erkenntnisse zur effektiven Zuordnung prozess- und inhaltsbezogener Kompetenzen bzw. Standards sind in *Bildungsplänen* abzubilden (vgl. z. B. MKJS, 2016 c) bzw. den Lehrkräften in den drei Ausbildungsphasen nahezubringen.

Ein weiteres curriculares Aufgabenfeld betrifft die *Zuordnung der Standards zu bestimmten Klassenstufen*. Kumulatives Lernen, welches die Lernvoraussetzungen der Zielgruppe berücksichtigt und gleichzeitig sinnvollen spiralcurricularen Konzepten folgt (vgl. Schaub & Zenke, 1995, S. 331), muss dadurch gewährleistet sein (vgl. Spörhase, 2012 b, S. 49 ff.). Hierfür werden Befunde aus Studien der Unterrichtsforschung, der Entwicklungs- und der Lernpsychologie genutzt.

Naturwissenschaftsdidaktik begegnet außerdem bei der Qualitätssicherung und -steigerung in allen drei Phasen der *Aus- und Fortbildung von Lehrkräften* diversen Herausforderungen (vgl. Spörhase, 2012 a, S. 14 ff.): „Die Didaktik ist die Berufswissenschaft von Lehrerinnen und Lehrern. Deshalb muss sich die Professionalisierung des Personals auch im Kern auf die didaktisch-methodischen Kompetenzen beziehen“ (Jank & Meyer, 2009, S. 165), die sowohl Wissen als auch Reflexions- und Handlungskompetenzen umfasst (vgl. ebd., S. 162 ff.). Hierzu gehören fachliche, fachdidaktische und allgemein didaktische, lernpsycho-

logische sowie pädagogische Fähigkeiten zur Gestaltung kompetenz- und kontextorientierter Lernumgebungen (vgl. Bayrhuber, Bögeholz, Elster, Hammann, Hößle, Lücken et al., 2007, S. 284; Bolte & Schulte, 2014, S. 370; Emden, Hübinger & Sumfleth, 2010, S. 279; Nawrath & Komorek, 2013, S. 252 f.), speziell auch zur individuellen Förderung und Binnendifferenzierung (vgl. Bybee, 1997, S. 91 f.; Mayer, 2004, S. 93; Meier & Mayer, 2015, S. 103; Richter, Kuhl, Haag & Pant, 2013, S. 387; Wenning & Sandmann, 2016, S. 13). Diese Qualifizierungs- bzw. Professionalisierungsprozesse in der Lehrerbildung weiter zu optimieren, ist höchst bedeutsam, weisen doch zahlreiche Lehramtsstudierende in den Naturwissenschaften Mängel in fachdidaktischen Kompetenzen hinsichtlich des Forschenden Lernens i. A. (vgl. Krämer, Nessler & Schlüter, 2013, S. 154 f.) bzw. des Experimentierens i. B. (z. B. bei der Diagnostik bzw. Unterrichtswahrnehmung; vgl. Ekler, Tempel, Vollmer, Rehm & Randler, 2015) oder aber sogar hinsichtlich des eigenen selbstständigen Experimentierens (vgl. Huang, 2008, S. 309; Kambach & Upmeyer zu Belzen, 2015) auf. Des Weiteren wäre wünschenswert, wenn die drei Ausbildungsphasen Theorie und Praxis besser miteinander verknüpfen würden und besser aufeinander abgestimmt wären (vgl. Messner, 2004). Auch müsste besser gewährleistet und umgesetzt werden, dass neuere Erkenntnisse der fachdidaktischen Forschung an seit längerem praktizierende (vgl. Busch & Woest, 2016, S. 271; Mikelskis-Seifert & Duit, 2007, S. 268; Widodo & Duit, 2004, S. 243) oder fachfremd unterrichtende (vgl. Berck & Graf, 2010, S. 165; Emden, Hübinger & Sumfleth, 2010, S. 279; Giertz, 2017, S. 4; Pant et al., 2013) Lehrkräfte herangetragen werden können. Hierfür sind zum einen effektive und u. U. auch verbindliche regelmäßige Fortbildungen nötig (vgl. Bäuerlein, 19./20.11.2016, S. 6; Bayrhuber, Bögeholz, Eggert et al., 2007, S. 311; Bayrhuber, Bögeholz, Elster et al., 2007, S. 282 f.; Korneck & Picard, 2006, S. 1), zum anderen Hinweise und Materialien in schulpraxisorientierten fachdidaktischen Zeitschriften, Lehrerhandreichungen und Umsetzungsbeispielen (vgl. Nawrath & Komorek, 2013, S. 255; Sotiriou et al., 2012, S. 17, 21 f.).

Professionalität im Lehrerberuf betrifft im Hinblick auf eine adäquate individuell adaptive Unterstützung bzw. eine Beurteilung des unterrichtlichen Erfolges auch die *Diagnose- und Evaluationskompetenz*: „Es herrscht breiter Konsens darüber, dass insbesondere dem Aufbau von Diagnose- und Förderkompetenzen eine zentrale Rolle in einer professionsorientierten Lehrerbildung zukommt [...]“ (von Aufschnaiter, Dübbelde, Capell, Ennemoser, Mayer, Stiensmaier-Pelster et al., 2009, S. 77; vgl. auch di Fuccia & Ralle, 2009, S. 76 f.; Hedewig, 1990, S. 86; Hesse & Latzko, 2011, S. 13 ff.; Klautke, 1990, S. 76 ff.; Lersch, 2007, S. 40; Parchmann & Kaufmann, 2006, S. 9). Grundlage hierfür sind angemessene Verfahren und Instrumente der Performanzmessung¹⁸, die zentrale Testgütekriterien wie Validität, Reliabilität und Objektivität

¹⁸ zur Unterscheidung von Kompetenz und Performanz: s. Meyer (2007, S. 147).

tivität erfüllen, um die Ausprägung von Komponenten der *Scientific Literacy* (z. B. experimenteller Problemlösefähigkeit) zu erheben und unterrichtliche Fördermaßnahmen zu evaluieren (vgl. Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, S. 695; von Aufschnaiter et al., 2009, S. 77; Bybee, 1997, S. 70, 92; Emden & Sumfleth, 2012, S. 68; Friedrich, Feller, Joos & Spörhase, 2016, S. 8 f.; Harms, 2016, S. 3; KMK, 2015, S. 20; Köller, Baumert & Bos, 2002, S. 272 ff.; Lunetta et al., 2007, S. 413 ff., 429, 433; Meier & Mayer, 2011, S. 122; Renkl, 2010, S. 739; Schwichow, Christoph, Boone & Härtig, 2016, S. 216; Tamir, 1998, S. 761, 783 f.; Vorholzer et al., 2016, S. 25). Entsprechende Operationalisierungen, Assessmentitems bzw. Codierungskriterien basieren auf den zugrundeliegenden Kompetenzmodellen, deren Kenntnis bedeutsam ist (s. Abschnitte 3.3 und 5.2; vgl. Bögeholz, Joachim, Hasse & Hammann, 2016; Mayer & Wellnitz, 2014, S. 25).

1.6 Übergeordnete Fragestellung und Zielsetzungen dieser Arbeit

Wie in den vorangehenden Abschnitten dieses Kapitels aufgezeigt bestehen in den Naturwissenschaftsdidaktiken trotz bereits umfangreich vorliegender Erkenntnisse, die in den folgenden Kapiteln vorgestellt werden, weitere Forschungsdesiderate.

Box 1-2. Übergeordnete Fragestellung des eigenen Forschungsprojektes

Im Fokus der Interventionsstudie des e*MNU-Projekts des Verfassers („Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung“) steht die *übergeordnete Frage*, ob, inwieweit und auf welche Weise experimentelle Problemlösefähigkeit im Rahmen des prominenten Ansatzes *kontextorientierten Naturwissenschaftsunterrichts* (vgl. Höttecke & Rieß, 2015, S. 128) in der *komplexen Domäne „Ökologie“* kumulativ gefördert werden kann, die eine große Bedeutung für die zentrale *Leitperspektive Bildung für nachhaltige Entwicklung* (BNE) im neuen Bildungsplan (MKJS, 2016 a, S. 3) besitzt. In diesem Zusammenhang interessiert auch, wie damit zusammenhängende *domänenspezifische Kompetenzen* erfasst sowie ob deren *Förderung* in *Schulbüchern und Lehrerhandreichungen* aufgegriffen werden.

Mit dem Forschungsprojekt waren vor diesem Hintergrund verschiedene *Zielsetzungen* verknüpft, die in den Abschnitten 6.1.7, 6.2.1 und 6.3.1 noch weiter ausgeführt werden:

- Gewinnung von Erkenntnissen zur *Kompetenzförderung in spezifischen Lernumgebungen* (kumulatives Lernen bei komplexer Domäne, anspruchsvollem Lernkontext, Verknüpfung aller vier Kompetenzbereiche, Förderung entweder anhand von Experimenten oder indirekt über Fähigkeiten systemischen Denkens) für eine Zielgruppe mittlerer Leistungsstärke (Realschule) in der Orientierungsstufe (6. Klasse) der SEK I;

- damit einhergehend die Konzipierung und Erprobung von *unterrichtlichen Umsetzungsbeispielen* und Erstellung von *Handreichungen für Lehrkräfte* (Rösch, 2010 b) bzw. *Mitarbeitende eines Naturschutzzentrums* (Rösch, 2010 a);
- die Adaption bzw. Neuentwicklung geeigneter schriftlicher *Messinstrumente* als Voraussetzung für die Evaluation der Intervention sowie
- die Analyse von *Schulbüchern* als wichtiges Unterrichtsmedium hinsichtlich der Nutzung ihres Potenzials, zur Förderung experimenteller Kompetenzen beizutragen, sowie zugehöriger *Lehrerbände* hinsichtlich ihrer didaktischen Hintergrundinformationen und Impulse zu einer kompetenzorientierten Vorbereitung und Gestaltung von Experimentalunterricht.

Somit möchten diese Arbeit und die im Anhang (Kap. 9) beigefügten Einzelbeiträge zu Forschungsarbeiten des Verfassers erstens einen *Evidenz basierten Beitrag* zur naturwissenschaftsdidaktischen Forschung leisten (Rösch, 2013; Rösch, 2015; Roesch, Nerb & Riess, 2015; Rösch, Rieß & Nerb, 2012) und zweitens auf der Grundlage empirischer Erkenntnisse *konzeptionelle Impulse und Materialien* für die konkrete Gestaltung von Naturwissenschaftsunterricht an Schulen und die Einbeziehung außerschulischer Lernorte beisteuern (Rösch, 2010 a, b; Rösch, 2012).

1.7 Aufbau der Arbeit

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine *publikationsbasierte Dissertation*. Sie gliedert sich im vorderen Hauptteil in verschiedene Abschnitte, die als *Manteltext* die im Anhang beigefügten *Einzelbeiträge* im Gesamtzusammenhang der heutigen fachdidaktischen Unterrichtsforschung zur experimentellen Problemlösefähigkeit verorten und deren Erkenntnisse in die aktuelle Forschungsdiskussion einbetten:

An das vorliegende *Kapitel 1*, das in die Thematik einführt und übergeordnete Zielsetzungen dieser Arbeit aufzeigt, schließt sich ein Überblick über für das weitere Verständnis wichtige theoretische Hintergründe und den Stand der Forschung an:

Kapitel 2 stellt das Experiment als eine zentrale Methode naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung vor und klärt dabei die wichtigsten methodologischen und epistemologischen Charakteristika des zugrunde liegenden Konzepts.

Kapitel 3 widmet sich ausführlich dem Konstrukt *experimentelle Problemlösefähigkeit*. Dabei werden zentrale Begriffe eingeführt, die für eine angemessene Einordnung der nachfolgenden Darstellungen grundlegend sind.

In *Kapitel 4* wird der aktuelle Stand der Forschung bezüglich der Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit bzw. ihrer Komponenten referiert. Des Weiteren werden dort kritisch die didaktisch-methodischen Erkenntnisse zu kompetenzförderlichen Lernumgebungen mit der in diversen Studien untersuchten unterrichtlichen Realität kontrastiert.

Eine individuell angemessene Förderung von Kompetenzen und die Evaluation von unterrichtlichen Interventionsmaßnahmen setzt die Erfassung der Ausprägung, also Performanz, der interessierenden Kompetenzen voraus. *Kapitel 5* ergänzt daher wichtige Informationen zu Möglichkeiten für die Messung von Komponenten der experimentellen Problemlösefähigkeit und deren Spezifika.

Kapitel 6 vermittelt zwischen den recherchierten Grundlagen und den eigenen empirischen bzw. konzeptionellen Arbeiten des Verfassers, die in Kapitel 9 im Anhang beigefügt sind: Zu Beginn werden die Forschungsfragen präzisiert, die sich aus den vorausgehenden Kapiteln her- bzw. ableiten lassen und in der Einleitung erst kurz angerissen werden konnten (s. Abschnitt 1.6). Sie werden den in dieser Arbeit besprochenen Veröffentlichungen des Verfassers und den Facetten eines Mehrebenenanalytischen Rahmenmodells von Bedingungsfaktoren und Einflussgrößen in Lehr-Lernprozessen (s. Abb. 4.1) zugeordnet. Bevor die Einzelbeiträge näher betrachtet werden, gilt es, an dieser Stelle die Teilstudien des Forschungsprojekts auch in einer Übersicht vorzustellen. Es empfiehlt sich, in Zusammenhang mit Kapitel 6 die Einzelbeiträge in Kapitel 9 sowie die dort beigefügten Messinstrumente und Informationen zur Lernumgebung der Interventionsstudie zu sichten. Die Ausführungen in Kapitel 6 stellen Details zum besseren Verständnis der Einzelpublikationen vor. Die ergänzende Lektüre und Synopse von Kapitel 6 und den Einzelbeiträgen in Kapitel 9 bildet die Grundlage, um die Überlegungen im nachfolgenden Kapitel 7 vollständig erfassen zu können.

In *Kapitel 7* werden die Erträge der Einzelbeiträge zusammengefasst und deren Befunde bzw. konzeptionellen Impulse untereinander sowie mit dem aktuellen Stand der Forschungsdiskussion in Beziehung gesetzt. Aus dieser Synopse werden der Beitrag für den naturwissenschaftsdidaktischen Erkenntnisfortschritt und Implikationen für die Schulpraxis sowie ansatzweise für die Lehrerbildung herausgearbeitet. Ein mehrteiliger Ausblick, der zentrale Forschungsdesiderate aus dem Vorausgehenden ableitet, rundet die vorliegende Arbeit ab.

Auf das Quellenverzeichnis (*Kapitel 8*) folgt in *Kapitel 9* der Anhang. Dieser beinhaltet zum einen die in den Kapiteln 6 und 7 besprochenen eigenen Publikationen. Da sie i. d. R.

Aspekte verschiedener Abschnitte des Rahmentextes betreffen, wurden sie dort nicht unmittelbar an einer bestimmten Stelle eingefügt. Hieraus ergibt sich, dass in Kapitel 7 die wichtigsten Befunde bzw. Konzeptionen kurz zusammengefasst werden, um die Lektüre zu erleichtern¹⁹. Zum anderen umfasst der Anhang die schriftlichen *Messinstrumente* der in den Einzelbeiträgen berücksichtigten Teilstudien sowie eine zusammenfassende Darstellung des zentralen Treatments der Interventionsstudie²⁰. Den Abschluss des Anhangs bildet eine Übersicht zu den bisherigen eigenen wissenschaftlichen Aktivitäten und Arbeiten.

¹⁹ Ohne ein gewisses Maß an Redundanz wäre dies angesichts der Komplexität des Forschungsprojekts nicht zu leisten.

²⁰ ausführliche Versionen finden sich in Rösch (2010 a) und Rösch (2010 b)

2 Das Experiment als empirische naturwissenschaftliche Methode

Das Konstrukt, das die für eigenständiges Experimentieren erforderlichen Kompetenzen umfasst, wurde im vorausgehenden Kapitel 1 erstmals als *experimentelle Problemlösefähigkeit* bezeichnet. Kapitel 2 und 3 widmen sich nun vornehmlich der Einführung und Klärung zugrundeliegender bzw. damit verbundener zentraler *Begriffe* und *Konzepte*. Im vorliegenden zweiten Kapitel steht das naturwissenschaftliche *Experiment* im Fokus.

Löwe (1990, S. 265, 277) umschreibt (quantifizierendes) Experimentieren als „Königsweg der exakten Naturwissenschaften“ i. S. „des Erkenntnisgewinns (und der Problemlösung)“. Unbestritten gehört das Experiment zu den syntaktischen Strukturen (vgl. Berck & Graf, 2010, S. 17), also methodischen Charakteristika der Naturwissenschaften und ist von herausragender Bedeutung für deren Erkenntnisgewinnung (vgl. Gebhard et al., 2017, S. 25; Metzger & Sommer, 2010, S. 4; Robin, 2012; Schulze Heuling, Mikelskis-Seifert & Nückles, 2015, S. 43).

Der Begriff „Experiment“ bzw. das Verb „Experimentieren“ begegnet Lehrkräften wie Lernenden im Naturwissenschaftsunterricht vergleichsweise häufig: u. a. in Schulbüchern, auf Arbeitsblättern, in Überschriften von Versuchsanleitungen, als Bezeichnung praktischer Tätigkeiten im Unterricht, in Lehrerhandreichungen und didaktischen Publikationen. Es hat sich gezeigt, dass mit dem Terminus unterschiedlichste Konnotationen in Form von Charakteristika und Bedeutungen verbunden sind (z. B. beim Vergleich von Grygier & Hartinger, 2009, S. 12 f., 25 ff. mit Schulz, Wirtz & Starauschek, 2012; vgl. auch Barzel, Reinhoffer & Schrenk, 2012, S. 111 f.; Rieß, Wirtz, Barzel & Schulz, 2012, S. 8; s. Abschnitt 4.11.3). Insofern gilt es, zu Beginn dieses Kapitels eine für diese Arbeit eindeutige, konsistente *Definition* herauszuarbeiten: Was genau macht diese zentrale naturwissenschaftliche Methode aus?

Es folgen Erläuterungen zur Methodologie und Epistemologie, zu Kategorisierungsmöglichkeiten und zu Verbindungen und Unterschieden zwischen Experimenten und anderen Denk- und Arbeitsweisen im Naturwissenschaftsunterricht²¹.

2.1 Klärung des Terminus‘ „Experiment“

Eine erste Annäherung an die Bedeutung von „Experiment“ gestattet der Blick ins Wörterbuch: Seinen *etymologischen Ursprung* hat das deutsche Lehnwort im lateinischen *experimentum*,

²¹ Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird entsprechend der interessierenden Forschungsfragen ein Schwerpunkt auf den Biologieunterricht gelegt. Nichtsdestotrotz werden fachdidaktische Forschungsbefunde aus anderen naturwissenschaftlichen Fächern miteinbezogen.

das sich von *experiri* („versuchen, erproben“; Drosdowski, 1975, S. 138) ableitet und mit „Probe, Versuch“ (Wahrig, 1993, S. 446) bzw. „Erfahrungsbeweis“ (Sauermost & Freudig, 2000, S. 295) zu übersetzen ist (vgl. auch Muckenfuß, 2010, S. 22). Damit verwandt ist auch das lateinische Wort für „erfahren“ (ebd.; vgl. auch Puthz, 1988, S. 11), was auf den empirischen Wesenszug von Experimenten verweist (vgl. Suhr, 2010, S. 6). Suhr (2010, S. 11) fasst – ganz in diesem Sinn – das Experiment als „Bewährungsprobe“ eines spezifischen „Wissensbestandes“ auf, der als zu überprüfendes Denkmodell zu betrachten sei: Ein Experiment teste, „ob eine Vorhersage aus dem Wissensbestand mit experimentellen Befunden übereinstimmt“ (ebd.; vgl. auch ebd., S. 10; Muckenfuß, 2010, S. 36 f.). Sensus Suhr (2010, S. 12) werden beim Experimentieren im Rahmen der Hypothesenbildung und der Hypothesenprüfung somit *Theorie und empirische Evidenz* – also „gedankliche [...] Überlegung“ und „Erfahrung“ (Drosdowski, 1975, S. 125, 433) aufeinander bezogen, um deren Passung durch Vergleichen zu analysieren (vgl. Brezmann, 2004, S. 43; Hellmich & Höntges, 2010, S. 71 f.; Metzger & Sommer, 2010, S. 4; Wirtz & Schulz, 2012, S. 66 ff.). Abbildung 2-1 (aus Köhler & Meisert, 2012, S. 133) veranschaulicht diesen Zusammenhang:

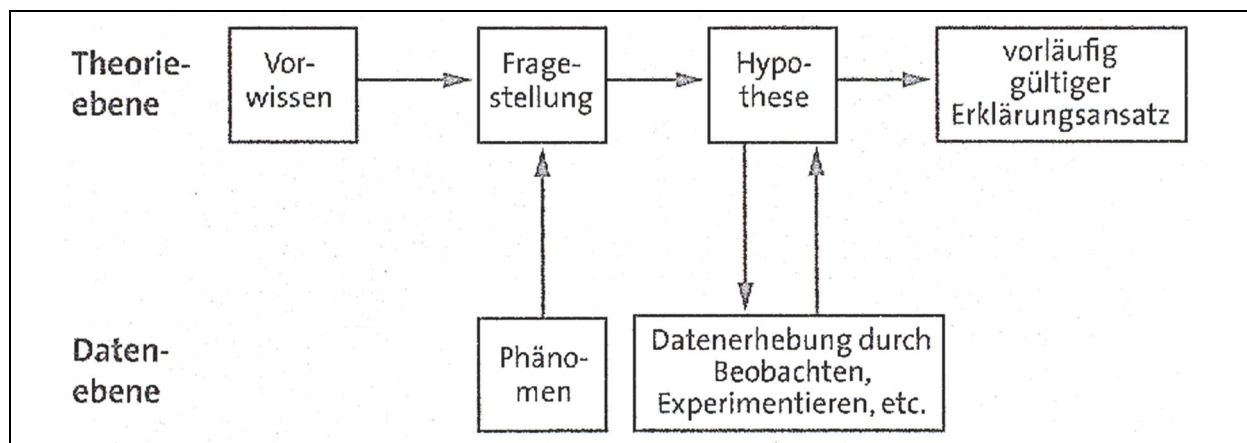


Abb. 2-1. Bezug von Theorie und Empirie im hypothetico-deduktiven Verfahren

Wie in Abbildung 2-1 ersichtlich kann das *hypothetisch-deduktive Verfahren* auch bei anderen Erkenntnismethoden wie dem hypothesenprüfenden Beobachten oder Vergleichen (vgl. Hammann, 2013, S. 294) Anwendung finden. Insofern ist eine weitere *Präzisierung des Begriffs Experiments* nötig.

Im Rahmen der hier vorgestellten und diskutierten Arbeiten wird eine Begriffsdefinition präferiert, die sich am strengen naturwissenschaftlichen Konzept orientiert (vgl. Campbell, Reece & Markl, 2006, S. 21; Sadava, Hillis, Heller & Berenbaum, 2011, S. 19). Aus der Definition des Physiklehrers und Reformpädagogen Kerschensteiner (s. Box 2-1) gehen der Zweck des Experimentierens und damit verbundene epistemologische Charakteristika hervor. Auch, wenn seine Erläuterung aus dem Jahr 1913/14 recht vage erscheint, wird zumindest

deutlich, dass spezifische Ansprüche an das methodologische ‚Design‘ bestehen, um zu aussagekräftigen Erkenntnissen zu gelangen:

Box 2-1. Begriffliche Konkretisierung des Experiments bei Kerschensteiner

„Das Experiment ist, ganz allgemein gesagt, ein Verfahren, die Abhängigkeit oder Unabhängigkeit der in einer Gesamterscheinung verknüpften Teilerscheinungen oder Elemente zu ermitteln. Die Methode der Variation geht dabei darauf aus, durch Veränderung eines der Elemente unter tunlichster Ausschaltung oder Konstanthaltung der übrigen Elemente die Bedeutung dieses Elements für die Gesamterscheinung zu ermitteln. Das Wesentliche beim Experiment sind also auch nicht die äußeren Vorrichtungen, die Apparate, wie unentbehrlich sie auch in vielen Fällen sein mögen, sondern die Methode der Untersuchung“.

(Kerschensteiner, 1963, S. 127)

Hauptcharakteristikum des Experiments ist laut Hedewig (1990, S. 82; Hervorhebungen und Einschübe durch den Verfasser) der manipulative „Eingriff in die Natur, der das Ziel hat, die *Ursachen* eines in der Natur ablaufenden Vorganges zu ermitteln. Dabei wird [in verschiedenen *Experimental- bzw. Kontrollansätzen*; vgl. Sauermost & Freudig, 2000, S. 295; Wellnitz & Mayer, 2012, S. 72] versucht, alle Parameter bis auf einen, der variiert wird, konstant zu halten [vgl. Box 2-1]. Das Experiment ist Bestandteil der hypothetisch-deduktiven Methode [...], die durch Aufeinanderfolge der Schritte Problemfindung, Hypothesenbildung, Planung und Durchführung des Experiments, Ermittlung und Deutung der Ergebnisse, Bestätigung oder Widerlegung der Hypothese gekennzeichnet ist“ (vgl. auch Schulz, Wirtz & Starauschek, 2012, S. 28 ff.). Die experimentell gewonnenen Befunde sind somit nicht zufällige Beobachtungen, von denen rein induktiv auf allgemein gültige zugrunde liegende Gesetzmäßigkeiten geschlossen würde (vgl. Suhr, 2010, S. 6 f.). Sie können vielmehr als ‚forcierte‘ Antworten auf eine „gezielte Frage an die Natur“ (von Falkenhausen, 1971, S. 108; Puthz, 1988, S. 11; vgl. auch Muckenfuß, 2010, S. 26; Suhr, 2010, S. 11) betrachtet und herangezogen werden.

Laut Lethmate (2006, S. 5) setzt sich der Begriff des „Experiments“ von dem der „*Untersuchung*“ derart ab, dass beim Experimentieren nicht allein das Eingreifen (vgl. Puthz, 1988) mit Hilfsmitteln in ein Objekt zur Betrachtung von dessen Struktur im Zentrum steht (vgl. Otteni in Spörhase & Ruppert, 2010, S. 84 f.), sondern die Analyse beeinflusster Abläufe von Erscheinungen zur Klärung von Ursache-Wirkungszusammenhängen (vgl. Hammann & Asshoff, 2014, S. 81), also von Kausalbeziehungen zwischen Systemelementen (vgl. auch Köhler & Meistert, 2014, S. 131, 136; Wellnitz & Mayer, 2012, S. 68). Hierzu sind das zielgerichtete Manipulieren von planmäßig ausgelösten Prozessen (vgl. Mayer & Ziemek, 2006, S. 4; Wellnitz & Mayer, 2012, S. 69) und die Beobachtung der abhängigen Variablen unter künstlich hergestellten Umständen erforderlich. Dabei werden einzelne Faktoren – die so genannten

Testgrößen – gezielt isoliert und variiert (vgl. Beller, 2008, S. 15), während man andere, kontrollierbare Bedingungen – die so genannten *Kontrollvariablen* – konstant hält oder eliminiert (vgl. Abd-el-Khalick, 2006, S. 401; Höttecke, 2004 b, S. 52; Klautke, 1997, S. 323; Lethmate, 2003, S. 42; ders., 2006, S. 5). Weitere Faktoren, welche die Veränderung der *abhängigen Variable(n)* (mit-)bedingen könnten, jedoch nicht kontrolliert werden, bezeichnet man als *Störvariablen* (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 13). Sämtliche Variablen innerhalb eines Systems, die als Ursachen einer bestimmten Wirkung (vgl. Beller, 2008, S. 29) in Frage kommen könnten, werden als *unabhängige Variablen* bezeichnet (vgl. Wellnitz & Mayer, 2012, S. 72). Die eindeutige Zuschreibung von einer oder mehreren interagierenden (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 532 ff.) unabhängigen Variablen als Ursache eines bestimmten (mono- bzw. multikausal bedingten) Effekts erfordert *intern(al)e Validität* (vgl. Rost, 2007, S. 127 f.). Das heißt, dass ein gutes experimentelles Design eine *Konfundierung* durch gleichzeitige Variation von unabhängigen Variablen vermeidet²² und durch *Isolierung* interessierender Einflussfaktoren und deren systematische Veränderung in geeigneten *Kontrollansätzen* aussagekräftige Schlussfolgerungen über Ursache-Wirkungsbeziehungen durch Vergleiche ermöglicht (vgl. Roberts & Gott, 2003, S. 115; Rost, 2007, S. 107 ff.). Neben der „systematische[n] Variation und Kontrolle von Variablen“ in Experimental- und Kontrollansätzen zeichnen sich gute Experimente Hammann und Asshoff (2014, S. 79) zufolge darüber hinaus durch *überprüfbare allgemeingültige, operationalisierbare, widerspruchsfreie und prinzipiell falsifizierbare Hypothesen*, also theoretisch begründete Vermutungen, aus. In der Regel sollten Experimente wiederholbar sein und zu intersubjektiv gültigen bzw. anerkehbaren Befunden führen (vgl. Kattmann, 1971, S. 264; Klautke, 1990, S. 70; Sauermost & Freudig, 2000, S. 295).

Box 2-2. Exkurs: definitive ‚Erkenntnis‘ durch Experimente?

Ogleich Experimentieren als *Erkenntnisgewinnungsmethode* bezeichnet wird, ist mit Blick auf das epistemologische Verständnis schließlich noch klarzustellen, dass – i. S. des kritischen Rationalismus‘ bzw. hypothetischen Realismus‘ – nie absolute Erkenntnis über Kausalbeziehungen zwischen Systemgrößen erlangt werden kann (vgl. Hofheinz, 2010 b, S. 11; Klautke, 1997, S. 324; Langlet, 2001, S. 4 f.; s. Anmerkungen zum Naiven Realismus in Abschnitt 4.7.1.3). Vielmehr bedeutet eine „*Verifizierung*“ lediglich eine vorläufige Untermauerung einer Hypothese, insofern dass die Annahme in einem konkreten Einzelfall bestätigt wurde (vgl. Klautke, 1990, S. 75 f.). Experimentelle Befunde haben somit stets *probabilistischen Charakter* (vgl. Langlet, 2001, S. 5): „unser Wissen bleibt immer vorläufig, fehlbar, korrigierbar. [...] Eine Hypothese oder Theorie ist [allerdings] umso vertrauenswürdiger, je mehr ernsthaften Widerlegungsversuchen sie widerstanden hat“ (Sauermost & Freudig, 2000, S. 295; vgl. auch Kattmann, 1971, S. 264). Gerade in komplexen Systemen (s. Abschnitte 6.1.2 und 6.1.3) ist Erkenntnisgewinnung hinsichtlich mechanistischer oder deterministischer Kausalität nicht möglich, stattdessen bedeutet „empirische Kausalität“ lediglich „statistische Kausalität“ (Kattmann, 1971, S. 263).

²² Im angloamerikanischen Sprachraum spricht man hierbei von einem „fair test“ (Roberts & Gott, 2003, S. 117).

Im schulischen Bereich ist es wichtig, noch einen weiteren, häufig synonym verwendeten Begriff eindeutig vom Experiment i. e. S. abzugrenzen: „*Unterrichtsversuche*“ dienen Muckenfuß (1995, S. 338) zufolge nicht der Prüfung von Kausalhypothesen – ihnen fehlt die experimentelle Kontrolle. Vielmehr ist ihr Hauptziel die Erfahrungstiftung: sie helfen, naturwissenschaftliche Phänomene zu präsentieren (vgl. Tesch & Duit, 2004, S. 58). Durchaus können dabei Hypothesen zu Folgeerscheinungen aufgestellt, jedoch nicht deren Ursachen eindeutig aufgedeckt werden. Laut Grupe (zit. nach Moisl, 1988, S. 6) charakterisiert den Versuch lediglich, dass es „ein vom Menschen künstlich herbeigeführter natürlicher Vorgang [sei], dessen Bedingungen übersehbar sein müssen“.

2.2 Experimentieren – uniforme naturwissenschaftliche ‚Universalmethode‘?

Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung per se läuft variabel und keineswegs nur unter Nutzung einer uniformen Methode ab (vgl. Höttecke & Rieß, 2015, S. 134; Kizil & Kattmann, 2013, S. 190). Entsprechendes gilt auch für experimentelles Arbeiten: Es wird zwar von zahlreichen Autoren vereinfachend als geradliniger und dabei zyklischer Problemlöseprozess beschrieben (z. B. Campbell et al., 2006, S. 19; Frischknecht-Tobler & Labudde, 2010, S. 134 f.; Magnusson, Sullivan, Palincsar & Templin, 2006, S. 140 f.; Parchmann, 2009, S. 81; Rincke & Wodzinski, 2010, S. 243; Schreiber, 2012, S. 27; Wellnitz & Mayer, 2012, S. 70; Wirtz & Schulz, 2012, S. 61 f., 66 ff.; Zimmerman, 2000, S. 108), weil oftmals mehrere Schleifen der Erkenntnisgewinnung durchlaufen, Hypothesen generiert, überprüft und schließlich ggf. wieder revidiert und unter neuen Bedingungen getestet werden (vgl. Ganser & Hammann, 2009 a; Schmidkunz & Lindemann, 2003, S. 47 ff.). Allerdings gestaltet sich experimentelle Forschung nicht stets nach demselben Muster mit einer starren Sequenz identischer Teilschritte (vgl. Härtig et al., 2017, S. 2; Lunetta, 1998, S. 255). Auch explorative Phasen (s. Abschnitt 2.3), zufällige Ideen (vgl. von Aufschnaiter & Riemeier, 2005 a, S. 8; Campbell et al., 2006, S. 18) oder eine andere Aufeinanderfolge von Phasen können eine Rolle spielen (vgl. Bybee, 2006, S. 2 f.; Campbell et al., 2006, S. 22; Huang, 2008, S. 310; Kruse & Denz, 2015, S. 290; Niebert & Gropengießer, 2006, S. 13; Schreiber, Theißen & Schecker, 2010, S. 203 f.; Stäudel, 2014, S. 86; Wellnitz & Mayer, 2013, S. 318). Die Annahme, es existiere *eine* universelle Methode, quasi eine Patentprozedur naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung (vgl. Abd-el-Khalick, 2006, S. 390, 400), eine Art „experimentelle[r] Algorithmus“ (Sprenger & Otto, 2014, S. 268), gehört somit einem naiven *Nature of Science*-Verständnis an (vgl. Höttecke, 2004 a, S. 273; Pfeifer et al., 2002, S. 213). Vielmehr zeichnet sich naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung durch eine „Diversity of Scientific Thinking“ aus (Grygier, 2008, S. 59).

2.3 Funktionen und Kategorisierung von Experimenten in den Naturwissenschaften

Sauermost und Freudig (2000) differenzieren verschiedene *Intentionen*, die mit naturwissenschaftlichen Experimenten verknüpft werden (s. auch Nehring et al., 2016, S. 83; Schulze Heuling, Mikelskis-Seifert & Nückles, 2015, S. 46). Diese Ziele sind auch im Hinblick auf die *didaktischen Funktionen von Schulexperimenten* (vgl. Abschnitt 4.9.3) von Interesse. Es sind:

- „die Entdeckung neuer Phänomene, Objekte oder Regelmäßigkeiten;
- der Test einer Vermutung, einer Prognose, einer Retrodiktion [...];
- die Bestimmung von Naturkonstanten oder Systemeigenschaften [...];
- die Demonstration in der Lehre [...]“, mit dem Ziel, „zu neuen Ideen, Fragen, Vermutungen, Untersuchungen an[zu]regen“²³ (Sauermost & Freudig, 2000, S. 296; vgl. auch Reitinger, 2013, S. 140 f.).

Im Folgenden werden weitere *Typen* bzw. *Kategorien* vorgestellt, denen Experimente zugeordnet werden können:

Konfirmatorisches Experimentieren (vgl. Wirtz & Schulz, 2012, S. 60, 68 ff.) ist ein „planmäßige[r], systematische[r] und zielgerichtete[r] sowie kontrollierte[r] Eingriff in einen zu erforschenden naturwissenschaftlichen Ablauf, um durch Angabe seiner Ursachen ein Phänomen [auf der Basis plausibler, mehrfach experimentell geprüfter Theorien] erklärbar zu machen, d. h. kausale Gesetzmäßigkeiten ableiten zu können“ (Wellnitz & Mayer, 2012, S. 69; vgl. auch Otto & Mönter, 2015, S. 5; Schulz & Wirtz, 2012, S. 39; Schulz, Wirtz & Starauschek, 2012, S. 17). In bzw. zwischen den einzelnen Phasen des Experiments werden dabei i. S. des epistemologischen hypothetico-deduktiven Prinzips Theorie und Empirie systematisch aufeinander bezogen (vgl. Brezmann, 2004, S. 43; Köhler & Meisert, 2012, S. 133; Wirtz & Schulz, 2012, S. 64, 73), z. B. um theoretisch fundierte Hypothesen zu überprüfen (vgl. Wirtz & Schulz, 2012, S. 60)²⁴. Dies bedeutet, dass zu Beginn bereits (eine) Forschungsfrage(n) generiert und aus bestehender Theorie (eine) Hypothese(n) abgeleitet wurden (vgl. Campbell et al., 2006, S. 19 f.).

Eine zweite Spielart ist das *explorative Experimentieren*, bei dem Eigenschaften, Funktionsweise, Verhalten und Beeinflussungsmöglichkeiten noch unbekannter Systeme zunächst theoriefrei durch systematische Manipulation entdeckt und die aus Einzelbeobachtungen

²³ In der Schule ließe sich das Demonstrationsexperiment analogisieren, mit dem u. a. auch noch die Veranschaulichung einhergeht (vgl. auch Backhaus & Braun, 2009, S. 114; Lunetta, 1998, S. 249).

²⁴ Höttecke und Rieß (2015, S. 136) legen dar, dass die Hypothesenprüfung nur eine von mehreren Intentionen des Experimentierens darstelle; hauptsächlich komme diesem jedoch allgemein die Aufgabe zu, „Kongruenz experimenteller Praktiken mit theoretischen Annahmen“ herzustellen (vgl. Abschnitt 2.1, Abb. 2-1).

resultierenden Induktionen weiter analysiert werden (vgl. Backhaus & Braun, 2009, S. 112; Höttecke & Rieß, 2015, S. 132; Klahr & Simon, 1999, S. 526; Sauermost & Freudig, 2000, S. 295; Schanze, 2009, S. 18; Suhr, 2010, S. 11; Wirtz & Schulz, 2012, S. 61 ff., 70 f.). In diesem Fall spielt also die Hypothesenprüfung (noch) keine Rolle (vgl. von Aufschnaiter, 2008, S. 5 (249)), vielmehr die Generierung von Vermutungen (vgl. Reitinger, 2013, S. 141). Beide Typen – confirmatorisches und exploratives Experimentieren – haben ihre Berechtigung und spielen in den Naturwissenschaften eine bedeutsame Rolle (vgl. Backhaus & Braun, 2009, S. 110, 115). Eine Befragung in der gymnasialen Oberstufe (Uhlmann & Priemer, 2011, S. 425) ergab, dass Lernende in erster Linie das hypothesengeleitete Experimentieren, kaum jedoch explorative Phasen kennen²⁵. Nicht selten gibt es in der authentischen naturwissenschaftlichen Forschung ein Nebeneinander der beiden Vorgehensweisen, wobei induktive und deduktive Phasen immer wieder ineinander übergehen (vgl. Kruse & Denz, 2015, S. 289 f.).

Zwei weitere Ausprägungen des Experiments betreffen die *Quantifizierung* der operationalisierten unabhängigen und abhängigen Variablen (vgl. Sauermost & Freudig, 2000, S. 295; Wellnitz & Mayer, 2013, S. 321): *Qualitative Experimente* nehmen ausschließlich in den Blick, ob und wie eine Kausalbeziehung besteht. *Quantitativ* zu experimentieren, bedeutet hingegen, dass bei einer Datenerhebung konkrete Werte gemessen und mit Maßeinheiten oder in Verhältnissen angegeben werden, so dass das Maß der Beeinflussung mehr oder weniger exakt analysiert und verglichen werden kann (vgl. auch Moisl, 1988, S. 8; Stripf, 2006, Bd. 1, S. 110).

Werden Experimente als ‚Frage an die Natur‘ definiert (vgl. Höttecke & Rieß, 2015, S. 133 f.; Puthz, 1988, S. 11; Suhr, 2010, S. 11), die streng genommen ausschließlich durch systematische Eingriffe in die *Natur* und gezielte Beobachtung *natürlicher* Effekte beantwortet werden kann, so ist fraglich, ob bei der Verwendung gegenständlicher Homologmodelle (vgl. Upmeyer zu Belzen, 2013, S. 332), also von künstlichen Objekten, im Rahmen der experimentellen Methodologie die Bezeichnung „Experiment“ gerechtfertigt ist (vgl. Moisl, 1988, S. 6). So negiert z. B. Moisl (1988, S. 6) die Frage, ob *Modellexperimente und computerbasierte interaktive Simulationen* als Experimente i. e. S. bezeichnet werden können. Diese würden schließlich keine ‚Frage an die Natur‘ darstellen. Allerdings erfüllen auch diese mit Medien verbundenen Erkenntnisaktivitäten sämtliche methodologischen und strategischen Kriterien des streng-wissenschaftlichen Experiment-Begriffs. Der Verfasser dieser Arbeit spricht sich daher für eine terminologische Gleichbehandlung aus (vgl. auch Klautke, 1997, S. 328) – also gegen die Forderung Moisl (1988, S. 6), die experimentelle Arbeit mit künstlichen Systemen im schu-

²⁵ Die Frage, ob in der Lehrerbildung alleine das confirmatorische Experiment explizit thematisiert wird, erscheint interessant. Gelegenheit, exploratorisches Vorgehen aufzuzeigen, böten zahlreiche Beispiele etwa aus der Geschichte der Biologie (z. B. Entdeckung des Penicillins durch Alexander Fleming; vgl. Campbell et al., 2006, S. 18; Sadava et al., 2011, S. 514).

lischen Bereich lediglich der „experimentellen Lehrform“ zuzuordnen. Auch Rinschede (2003, S. 274 f.) nimmt eine pragmatische Position ein und legt die methodologischen Charakteristika als wesentliches Merkmal des Experimentbegriffs zugrunde: er unterscheidet in Abhängigkeit von Versuchsanordnung und Materialien einfach zwischen *Natur-* und *Modellexperimenten* (vgl. auch Barzel Reinhoffer & Schrenk, 2012, S. 120). Während erstere die unmittelbare Analyse von natürlichen Originalzusammenhängen gestatten, ist bei letzteren nötig, per Analogieschluss Erkenntnisse zuerst induktiv zu verallgemeinern und dann deduktiv auf die Vorbilder in der Realität zu übertragen – im Bewusstsein um die Beschränktheit dieses Transfers (vgl. Gropengießer et al., 2010, S. 96 f.).

Neben an Objekte oder Medien gebundenen Experimenten existieren überdies *Gedankenexperimente* (vgl. Kerschensteiner, 1963; 129; Puthz, 1988, S. 11). Diese können als *Denkmodelle* angesehen werden. Bereits in der Antike stellten sie ein übliches Mittel der Erkenntnisgewinnung dar. Dabei können selbst abstrakte innermathematische Zusammenhänge anhand konkreter Zahlen-, geometrischer oder formelhafter Beispiele durch Variation einzelner Aspekte und Konstanthaltung aller anderer Bedingungen erkundet werden (vgl. Barzel, Büchter & Leuders, 2009, S. 252; Barzel, Holzäpfel, Leuders & Streit, 2011, S. 47 f., 89).

Die vorausgehenden Ausführungen legen die Überlegung nahe, im naturwissenschaftsdidaktischen Bereich mit Blick auf eine nicht zu komplizierte Begriffsbildung in erster Linie essentielle domänenübergreifende epistemologisch-methodologische Kennzeichen dem Experiment-Konzept zugrunde zu legen und von der recht stark eingrenzenden Bezeichnung „Frage an die Natur“ abzusehen bzw. deren Bedeutungsbereich zu definieren und zu relativieren.

3 Experimentieren im Naturwissenschaftsunterricht als Problemlösen

Nachdem in Kapitel 2 bereits das Begriffsverständnis zum „Experiment“ geschärft wurde, wird nun zunächst der Terminus „Problem“ erläutert, bevor auf die Kategorisierung des *Experimentierens als naturwissenschaftlicher Problemlöseprozess* eingegangen wird. Über diese Einschätzung besteht in der naturwissenschaftsdidaktischen Literatur große Einigkeit (s. u.; vgl. Ganser & Hammann, 2009 b, S. 378; Germann et al., 1996, S. 192; Giest, 2008; Hammann, 2007, S. 187 ff.; Henke, 2007, S. 26; Klahr, 2000, S. 21; Klieme, Leutner et al., 2005; Kremer et al., 2013, S. 1; Mayer, 2007; Meier & Mayer, 2011, S. 127; Schultz-Siatkowski & Elster, 2012, S. 72; Zimmerman, 2000, S. 110). Es schließen sich Ausführungen zu fachdidaktischen Ansätzen an, naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung i. A. bzw. das Konstrukt *experimentelle Problemlösefähigkeit* i. B. zu modellieren.

3.1 Klärung des „Problem“-Begriffs

Wie in den Abschnitten 1.1 und 1.2 ausgeführt, stellt *Problemlösefähigkeit* eine wichtige formale Schlüsselqualifikation dar. Aebli (1998, S. 279) brachte dies mit Blick auf deren unterrichtliche Förderung hervorragend auf den Punkt: „Das Problemlösen hat [...] seinen eigenen Wert. Indem wir es pflegen, vermitteln wir dem Schüler Verfahren, Methoden und Heuristiken, die in der Schule und im Alltag hilfreich sind, und er erfährt, was Suchen und Forschen, Denken und Erkennen wirklich bedeuten“. Die Bildungsrelevanz von allgemeiner und spezifischer Problemlösefähigkeit im naturwissenschaftlichen Bereich wurde in diesem Sinn in Kapitel 1 bereits hinlänglich dargelegt. In den folgenden Abschnitten ist nun noch zu klären, was man allgemein unter einem „Problem“ versteht und ob dieses Konzept zum Experimentieren passt.

*„Wer ein Ziel hat
und sieht noch nicht, wie er es erreichen wird,
hat ein Problem.“*

(Aebli, 1998, S. 196)

Nach Dörner (vgl. Baumert et al., S. 369; Klahr, 2000, S. 22 ff.; Zech, 2002, S. 307 f.) wird eine Aufgabe zum Problem, wenn ein *unerwünschter situativer Ausgangszustand* aufgrund einer *Barriere*, also eines Hindernisses, nicht unmittelbar durch eine bewusste Routineaktivität in einen *angestrebten Zielzustand* überführt werden kann (vgl. auch Burns & Vollmeyer, 2002, S. 243; Funke & Zumach, 2006, S. 207; Giest, 2008, S. 4; Greiff, Wüstenberg, Holt, Gold-

hammer & Funke, 2013, S. 408; Klahr & Simon, 1999, S. 532; Klieme et al., 2001, S. 185; Mayer, 2007, S. 178; Priemer, 2011, S. 326; Rieß & Mischo, 2017, S. 2; Sodian, 2008, S. 452). Diesen Sachverhalt veranschaulicht Abbildung 3-1. Für die Überwindung dieser Distanz zwischen Problem und Lösung müssen angemessene problemspezifische *Operatoren* gefunden und adäquat angewendet werden (vgl. Funke & Zumach, 2006, S. 206).

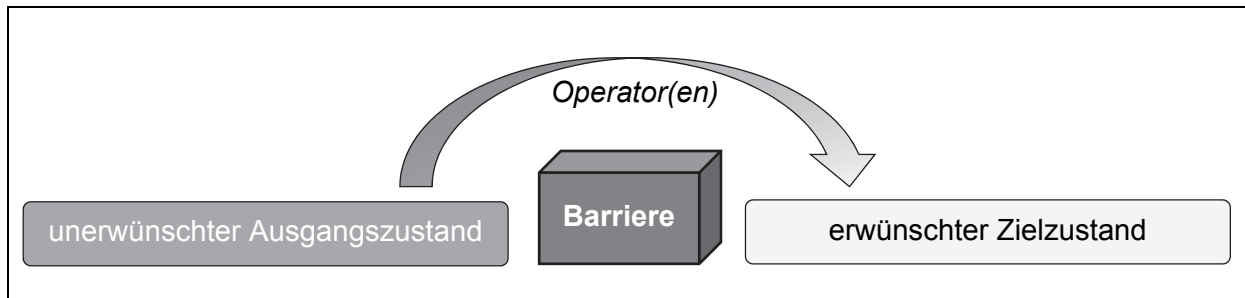


Abb. 3-1. Schematische Darstellung der Komponenten eines Problemlöseprozesses

Problemlösehandlungen können unterschiedliche Phasen dieser Trias aus Ausgangszustand, Zielzustand und Operator(en) betreffen (vgl. Baumert et al, 2001, S. 369; Funke & Zumbach 2006, S. 207 f.; Jannack, Knemeyer, Schallies & Marmé, 2015, S. 366 f.; Meier, 2016, S. 22; Mietzel, 2007, S. 302; Perkins & Unger, 1994, S. 6):

- (a) Identifikation des Problems,
- (b) Analyse der Ausgangssituation,
- (c) Identifikation der zur Verfügung stehenden Mittel, Strategien und Operationen,
- (d) Zielbestimmung,
- (e) Zerlegung in Teilziele sowie
- (f) Selegung, Kombination und Anordnung von Methoden zu Teilschritten²⁶.

Laut Sodian (2008, S. 452) kommt noch die „Evaluation der Ergebnisse von zielgerichteten Handlungen im Hinblick auf die Problemlösung“ hinzu. Diese Meinung teilen auch Flick und Lederman (2006, S. xi), die weitere Anforderungen ansprechen, die in diesem Kapitel noch vertieft werden: „The nature of complex tasks, such as inquiry, require the learner to track their [sic] own progress, use of cognitive resources, and awareness of when error checking or correction is needed. Reflection is also required for students to understand the nature of the scientific work they are engaged in, in other words the nature of science itself“.

²⁶ Hier wird deutlich, wie variabel folglich auch Lernaufgaben zur Förderung experimenteller Kompetenzen sein können (s. Abschnitte 4.9.7.6 und 4.11.4).

3.2 Experimentieren als naturwissenschaftliches Problemlösen

„Scientific inquiry is a complex process that requires integrating a variety of thinking skills and background knowledge in an investigative process.“
(Flick, 2000, S. 109)

Welche Kriterien ziehen Autoren wie Shute und Glaser (1990, S. 52) für ihre Einschätzung „Scientific inquiry can be seen as a problem-solving activity“ heran? „Innerhalb der Problemsituation“ erfolgt aktiv der „intelligente Erwerb von Wissen“, so Leutner, Wirth, Klieme und Funke (2005, S. 30). Dies trifft auch auf Prozesse naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung zu. In diesem Abschnitt gilt es, noch differenzierter der Frage nachzugehen, ob somit auch (mehr oder weniger offene Schüler-) Experimente als Problemlöseprozesse bezeichnet werden können. Die Schilderung eines Experimentalpraktikums in Box 3-1 führt vor Augen, welche Herausforderungen eigenständiges Experimentieren mit sich bringt:

Box 3-1. *Eigenständiges Experimentieren – ein schwieriges Unterfangen*

„Lässt man ihnen die Freiheit, sich eigene Forschungsfragen zu stellen, die sie in selbst ersonnenen Experimenten untersuchen sollen, so türmt sich anfangs typischerweise vor ihnen ein Berg von scheinbar unüberwindbaren Schwierigkeiten auf. [...] Bereits das Formulieren einer Forschungsfrage ist die erste Hürde. Wer diese überwunden hat, sieht sich dem Problem gegenüber, einen apparativen Aufbau für ein Experiment entwerfen zu müssen, das geeignet ist, die Forschungsfrage zu beantworten. Obwohl der Umgang mit Messgeräten bereits geübt wurde, muss nunmehr selbst überlegt werden, ob sich ein bestimmtes Gerät für einen bestimmten Messzweck eignet. Auch muss eine Auseinandersetzung mit Materialeigenschaften geführt werden, um die richtige Auswahl geeigneter Materialien treffen zu können. Während der [...] [D]urchführung bemerken [...] [sie] oft erst, dass ihre [...] [E]rgebnisse sehr empfindlich von der Justierung der Apparatur abhängen und dass zur ‚richtigen‘ Einstellung, die das theoretisch erwartete Ergebnis liefern soll, viel Geschick und schwer in Worte zu fassende Kenntnisse gehören können.“ (Suhr, 2010, S. 12 f.)

Suhr (2010) bezieht seine Ausführungen ursprünglich auf Studierende der Physik, die v. a. gut strukturierte Praktika in einer ‚vorbereiteten Lernumgebung‘ inklusive aufgebauter, einfach zu handhabender Apparaturen und instruktionaler Hilfen durch genaue Anweisungen und vorgegebene Auswertungsschemata gewohnt sind. Angesichts der im Naturwissenschaftsunterricht häufig zu beobachtenden ähnlichen Praxis kann diese Beobachtung von „Überwindung [...] [von] Widrigkeiten“ beim offenen Experimentieren (Suhr, 2010, S. 13) zweifelsohne auch auf den schulischen Kontext übertragen werden. *Offenes Experimentieren* wird somit oftmals als

Herausforderung an die eigene Problemlösefähigkeit und als „persönliches Wagnis mit unsicherem Ausgang“ erfahren (Suhr, 2010, S. 16): „[...] experimentation, a complex activity requiring the coordination of many subgoals [...]“ (Schauble et al., 1991, S. 859; vgl. auch Giest, 2008, S. 8). Zu ähnlichen Schlüssen gelangen auch Rincke, Wodzinski, Hänze und Schmidt-Weigand (2011), wie Box 3-2 zeigt:

Box 3-2. Herausforderung beim Experimentieren durch ungewohnte Offenheit

„Anders als typische Lehrbuchaufgaben, die sehr oft die zu ihrer Lösung nötigen Informationen zusammen mit dem Aufgabentext anbieten, müssen beim Experimentieren wichtige Informationen durch das Experiment eigenständig generiert, Relevantes von Irrelevantem getrennt und neue Informationsbestandteile in das Wissen integriert werden [vgl. auch Wirth & Funke, 2005, S. 55]. [...] wenn zu große Spielräume für selbstständiges Arbeiten gewährt werden [, ist Überforderung zu erwarten], etwa dann, wenn implizit die Beherrschung von [Denk- und] Arbeitsweisen vorausgesetzt wird, die mit dem Experimentieren eigentlich erst eingeübt werden sollen“. (Rincke et al., 2011, S. 378)

Höttecke und Rieß (2015, S. 136) illustrieren anhand von Fragen, wie sich bei *minds-on*-Experimenten im Rahmen individueller oder gemeinschaftlicher Reflexion offenbart, dass eine *experimentelle Aufgabe* ein *echtes Problem* darstellt:

„Experimentieren als Prozess verstanden gleicht einem [dynamischen] Schwebestand, in dem Kongruenz [zwischen experimentellen Maßnahmen und theoretischen Vermutungen] gerade noch nicht erfolgreich hergestellt werden konnte. Dieser Zustand ist von Fragehaltungen und produktiver Unsicherheit geprägt, die ausgehalten werden müssen: Verstehe ich das Instrument, das ich einsetze, richtig? Messe oder beobachte ich nur einen Effekt oder überlagern sich mehrere? In welchem Verhältnis steht meine Messung zu meinen theoretischen Ideen? Wie muss ich das Instrument verwenden, damit ich messe, was ich glaube, messen zu können? Wie erkenne ich systematische und zufällige Messunsicherheiten? Wie gehe ich mit Daten und Beobachtungen um, die ich nicht widerspruchsfrei interpretieren kann? Und so fort ...“.

Experimentieren aus kognitions- und lernpsychologischer Perspektive somit als *Form des Problemlösens* zu betrachten (vgl. Klahr, 2000; Wellnitz & Mayer, 2013, S. 318) und im Unterricht als einen entsprechenden Prozess zu gestalten, ist kein fachdidaktisches Novum, sondern steht vielmehr in langer Tradition, die bereits in der Zeit der Reformpädagogik Beachtung fand (vgl. Kerschensteiner, 1963, S. 56 ff.). Wagener (1982, S. 426 f.; Hervorhebung durch den Verfasser) weist darauf hin, dass einige Jahrzehnte später Roth in seiner 1965 erschienenen *Pädagogischen Psychologie des Lehrens und Lernens* „das *problemorientierte Lern-*

stufenmodell [...] [als] eine geeignete Strukturierungshilfe“ mit folgenden *Phasen* ansah (vgl. ebd., ergänzt; vgl. auch Schmidkunz, 2005, S. 19; Wu & Hsieh, 2006, S. 1291):

- (a) Zufällige oder didaktisch bewusst angeregte *Wahrnehmung* bzw. Rekapitulation eines (ggf. bereits früher kennengelernten) nicht aus dem Stehgreif zu erklärenden *Phänomens*;
- (b) Entstehung einer *Fragehaltung* (vgl. auch Emden et al., 2010, S. 281 f.);
- (c) *Abgrenzung des Problems* oder der „Schwierigkeit“ (Kerschensteiner, 1963, S. 56) durch eine möglichst konkrete *Fragestellung* (vgl. auch Grube, 2010, S. 4, 11, 37; Neber & Anton, 2008 b);
- (d) Formulierung einer (oder mehrerer) *Hypothese(n)*;
- (e) *Planung* von Lösungswegen (zuerst als Gedankenexperimente) und ggf. *Auswahl*;
- (f) *exakte Planung* von Stichprobe, Aufbau, Durchführung (Design, Techniken etc.), Beobachtung bzw. Messung (vgl. auch Wellnitz & Mayer, 2013, S. 326);
- (g) *Beschaffung* von Geräten, Substanzen, Objekten (ggf. Organismen) oder/und *Aufsuchen* natürlicher Systeme im Gelände (vgl. auch Moisl, 1988, S. 8);
- (h) *Aufbau* von Geräten, Platzierung oder Präparation von zu untersuchenden Objekten;
- (i) *Durchführung* gemäß Planung;
- (j) Erhebung (Beobachtung bzw. Messung) und Dokumentation von *Daten* zu geplanten Zeitpunkten;
- (k) *Sammlung und Ordnung* der Daten
- (l) *Auswertung* der Daten mit dem Ziel der *Verifikation* bzw. *Falsifikation* der Hypothese;
- (m) *Abbau*, Aufräumen, sachgemäße Entsorgung bzw. Freisetzung oder vorschriftsmäßige Haltung (bei Organismen).

Martius et al. (2016, S. 221) merken an, dass sich diese Artikulation von Phasen auch beim *Forschenden Lernen* bzw. *Forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahren* (vgl. Schmidkunz & Linemann, 2003, S. 23 ff.) wieder finden lässt, welche sich durch *Problemorientierung* (vgl. Jannack, Knemeyer, Schallies & Marmé, 2015) und eine *Fokussierung auf Erkenntnismethoden* auszeichnen, z. B. auf Experimentieren (s. Abschnitt 4.9.5).

Grube (2010, S. 21) parallelisiert schließlich Problemlöseprozeduren mit Kompetenzen *wissenschaftlichen Denkens* im Rahmen der Erkenntnisgewinnung. Unter diesem Konstrukt wird die „Fähigkeit zum hypothetisch-deduktiven Denken, zur bewussten und systematischen Prüfung von Theorien und Hypothesen“ verstanden (Bullock & Sodian, 2003, S. 75, zit. nach Hellmich & Höntges, 2010, S. 70; vgl. auch Heimann & Neumann, 2011, S. 26; Mayer, 2007,

S. 178 ff.; Schrempp & Sodian, 1999, S. 67). Es erfordert verschiedene kognitive Kompetenzen, die sich während des Heranwachsens entwickeln (vgl. Sodian, 2008; s. Abschnitt 4.7.1.1).

Wie lässt sich das ‚Bündel‘²⁷ aus den für eigenständiges Planen, Durchführen und Auswerten von Experimenten zur Überprüfung von Hypothesen bzw. unbegründeten Vermutungen zu Kausalbeziehungen notwendigen Kompetenzen (Kenntnissen, Verständnis, Fähigkeiten und Fertigkeiten) kurz und prägnant in einem *Begriff* zusammenfassen? In der Literatur finden sich diverse *Singular*-Formulierungen wie „experimentelle *Kompetenz*“ (z. B. bei Gut-Glanzmann, 2012; Hmelo-Silver, Nagarajan & Day, 2002, S. 219; Meier & Mayer, 2012; Meier & Mayer, 2013; Nawrath, Maiseyenko & Schecker, 2011; Rösch, 2008; Schecker, Neumann, Theyßen, Eickhorst & Dickmann, 2016; Schmidt & Möller, 2015, S. 109; Schreiber, 2012; Thyssen, Hornung & Mayerl, 2016, S. 222), wobei die Facetten in einem solchen Fall meist als „experimentelle *Teilkompetenzen*“ (Nawrath et al., 2011, S. 43; Hervorhebung durch den Verfasser) bezeichnet werden. Nach Ansicht des Verfassers ist diesbezüglich kritisch zu hinterfragen, ob man von *einer* „Kompetenz“ sprechen sollte²⁸. Schließlich wird eine *Plural*-Formulierung wie etwa „experimentelle *Kompetenzen*“ bei LISA (2003, S. 14; Hervorhebung durch den Verfasser) oder „Experimentierkompetenzen“ bei Bögeholz, Joachim, Hasse und Hammann (2016, S. 40; Hervorhebung durch den Verfasser) der komplexen Aktivität des Experimentierens mehr gerecht angesichts theoretisch differenzierbarer und auch empirisch voneinander abgrenzbarer Komponenten (vgl. Hammann et al., 2007; Mayer et al., 2008): Experimentieren setzt sich aus zahlreichen Problemlöseschritten, kognitiven wissenschaftsmethodischen Fähigkeiten und technisch-manuellen Fertigkeiten zusammen (s. Abschnitt 3.3; vgl. auch German et al., 1996; Gleason & Schauble, 2000, S. 345 f.; Kambach & Upmeyer zu Belzen, 2016, S. 232; Zimmerman, 2000, S. 109). Dies kommt der *Kompetenzdefinition von Weinert* (2002; s. Abschnitt 1.1) am nächsten, in der die funktionale *Anforderungsspezifität* (vgl. auch Klieme & Hartig, 2008, S. 14) betont wird und somit die empirische Unterscheidbarkeit von Komponenten ein Kriterium für die *Differenzierung von (Teil-) Kompetenzen* darstellt (vgl. Bühner, 2011, S. 75 f.). Nawrath, Maiseyenko und Schecker (2013, S. 8) sprechen von „Experimentierfähigkeit“. Dies ist aus Sicht des Verfassers dem Singular-Begriff „Experimentier-“ bzw. „experimentelle *Kompetenz*“ aus den o. g. Gründen unbedingt vorzuziehen, zumal „Fähigkeit“ nicht wie der „Kompetenz“-Begriff bei Weinert (2002) konnotiert ist. In den Publikationen zum eigenen Forschungsprojekt wurde für das Konstrukt folglich die Bezeichnung „*experimentelle Problemlösefähigkeit*“ gewählt. Dieser terminologische Kompromiss nimmt den Problem-

²⁷ Härtig et al. (2017, S. 3) sprechen von einem „Konglomerat“.

²⁸ Im Zusammenhang mit „Problemlösen als fächerübergreifende[r] Kompetenz“ (Klieme, Funke, Leutner, Reimann & Wirth (2001, S. 179) handhaben dies überraschenderweise auch Autoren wie Hartig und Klieme (2006, S. 139) sowie Klieme, Leutner und Wirth (2005). Der Beitrag von Baumert, Klieme, Neubrand, Prenzel, Schiefele, Schneider, Tillmann und Weiß (o. J.) zeigt jedoch, dass auch hier der Singular nicht ganz konsequent verwendet wird.

löseaspekt mit auf.

Kriteriengeleitet können bei der Bearbeitung von Lern- (vgl. Hammann, 2006 a) bzw. Prüfungsaufgaben (vgl. Walpuski, Kampa, Kauertz & Wellnitz, 2008) in Verbindung mit Experiment(ier)en zwei *Typen des Problemlösens* mit unterschiedlichen (meta-)kognitiven und aktionsbezogenen Anforderungen (vgl. Borgenheimer & Weber, 2009, S. 181 ff.; Zhang, Hsu, Wang & Ho, 2015, S. 530) unterschieden werden:

Interaktive Lernaktivitäten bzw. „Lernumgebungen [...] erfordern allesamt, dass der Lernende die Lernumgebung exploriert, manipuliert oder in ihr experimentiert, um die benötigten Informationen zu generieren“ (Thillmann, 2007, S. 37). Im Rahmen von Real- oder analogen bzw. digital simulierten Modellexperimenten ist dementsprechend „*dynamisches Problemlösen*“ gefragt (Leutner, Funke, Klieme & Wirth, 2005, S. 17; vgl. auch Shute & Glaser, 1990, S. 52). Dies erfordert ein hohes Maß metakognitiver und kognitiver Ressourcen, wobei die Steuerung und Regelung wissenschaftlicher Denk- und Erkenntnisprozesse bei Experten stärker automatisiert ablaufen (vgl. Germann et al., 1996, S. 193) und folglich weniger Kapazität des Arbeitsspeichers des Gedächtnisses beanspruchen.

Vom dynamischen ist „*analytisches Problemlösen*“ (Leutner, Funke, Klieme & Wirth, 2005, S. 17) zu unterscheiden. Hier fehlt das Interagieren mit dynamischen Systemgrößen und -abläufen. Schriftliche Aufgaben fordern beispielsweise dann analytische experimentelle Problemlösefähigkeit, wenn nach Fehlern in einem konfundierten vorgegeben Kontrollansatz gefragt wird. Umfangreichere analytische Problemlöseaufgaben zum Experimentieren können durchaus auch metakognitive Fähigkeiten erfordern, jedoch ist die notwendige Selbstregulation nicht mit analogen dynamischen Herausforderungen identisch: Hammann et al. (2008, S. 69 ff.) weisen darauf hin, dass dynamisches experimentelles Problemlösen zahlreiche Fertigkeiten und Fähigkeiten umfasst, die weit über die Anforderungen statisch-analytischer Arbeitsaufträge (z. B. *paper-and-pencil*-Aufgaben zum Experimentieren) hinausgehen. Problemaufgaben, z. B. in Form eigenständigen realen, also handelnden Experimentierens, die dynamische, also interaktive Bearbeitungsprozesse beinhalten (vgl. Hmelo-Silver et al., 2002, S. 242), bei denen durch den systematischen manipulativen Umgang Systeminformationen erst entdeckt werden müssen, werden daher auch dem „*komplexen Problemlösen*“ zugeordnet (vgl. Scherer & Tiemann, 2011, S. 363).

3.3 Modellierung experimenteller Problemlösefähigkeit

Experimentelle Problemlösefähigkeit umfasst zweifelsohne zahlreiche voneinander *unterscheidbare Kompetenzen*. Deren Identitäten und Zusammenhänge (vgl. Bühner, 2011, S. 388)

versucht naturwissenschaftsdidaktische Forschung in *Kompetenzstrukturmodellen* abzubilden (vgl. Hammann, 2004; Hartig & Klieme, 2006, S. 128, 132). Theoretisch postulierte und im Idealfall empirisch überprüfte ordinal oder metrisch skalierte Ausprägungen identifizierbarer Kompetenzen sind die Grundlage so genannter *Kompetenzniveau-* bzw. *-stufenmodelle* (vgl. ebd., S. 133 f.). Hammann (2004, S. 196) spricht von „*Kompetenzentwicklungsmodellen*“ als hypothetischen Abbildungen sowohl von Strukturen als auch von Stufen bestimmter Kompetenzen (vgl. auch Tiemann et al., 2011, S. 259). Kritisch anzumerken ist allerdings, dass individuell die Kompetenzentwicklung auch „sprunghaft“, diskontinuierlich, vonstattengehen kann, also Zwischenstufen innerhalb eines Modells ausgelassen werden könnten.

Eine qualitative Unterscheidung von Niveaustufen einzelner (Teil-)Kompetenzen (Dimensionen), ist nicht allein aus pädagogischer Perspektive um der Diagnostik oder Evaluation willen sinnvoll, sondern auch aus psychometrischer Sicht erforderlich, um korrelative Zusammenhänge zu untersuchen und Kompetenzmodelle evidenzbasiert zu optimieren, indem theoretische Modelle hinsichtlich der Passung mit empirischen Daten verglichen werden (vgl. Bühner, 2011, S. 380). Kompetenzstruktur- und -(entwicklungs)stufenmodelle stellen also Konstrukte von „konstituierenden Dimensionen und darin unterscheidbare[n] Niveaustufen zu jedem Kompetenzbereich“ dar (Bayrhuber, Bögeholz, Eggert et al., 2007, S. 305). Auf ihrer Grundlage sind systematische Kompetenzförderung und valide Performanzmessung möglich (vgl. ebd.; s. Abschnitt 5.2).

Inzwischen existieren zahlreiche *Modelle für experimentelle Kompetenzen*. Manche Autoren (u. a. Hammann et al., 2007; Klahr, 2000; Mayer et al., 2008; Nawrath, Maiseyenko & Schecker, 2011; Wellnitz & Mayer, 2013) versuchen auch, für naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung insgesamt i. S. wissenschaftlichen Denkens (vgl. Mayer, 2007) oder für experimentelle Problemlösefähigkeit (z. B. Meier, 2016) mehrere Dimensionen umfassende Kompetenzmodelle theoretisch zu postulieren, und prüfen deren empirische Passung (vgl. Bühner, 2011, S. 418 f, 541).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden zwei Modelle exemplarisch vorgestellt: Zum einen das *SDDS-Modell* (Klahr, 2000), das die Grundlage zahlreicher fachdidaktischer Forschungsarbeiten (vgl. Nehring et al., 2016, S. 78; z. B. Glug, 2009; Ehmer, 2008; Ganser & Hammann, 2009 b; Gößling, 2010; Hammann, 2004; Hammann et al., 2007; Hammann, Phan, Ehmer & Grimm, 2008; Kremer & Schlüter, 2008; Küsting, 2007; Phan, 2007; Schreiber, 2012, Thillmann, 2007; Wahser, 2007) darstellt. Zum anderen folgt darauf die Auseinandersetzung mit dem Modell von Mayer et al. (2008, S. 65 ff.), dem Überlegungen zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung als Problemlöseprozess (vgl. Mayer, 2007, S. 177 ff.) zugrunde liegen und an das im Forschungsprojekt des Verfassers konzeptionell angeknüpft wurde.

Bevor die beiden genannten Kompetenzmodelle erläutert werden, ist es um eines besseren Verständnisses willen sinnvoll, noch kurz auf die Unterscheidung zwischen drei *Dimensionen* oder *Kompetenzkonstrukten naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung* sensu Mayer und Ziemek (2006; s. auch Mayer, 2007, S. 178) einzugehen: Während früher oftmals v. a. technische und praktische Kompetenzen im Mittelpunkt von Experimentalunterricht standen (Dimension „*manuelle Fertigkeiten*“; Mayer, 2007, S. 178), versuchen aktuelle „*science as inquiry*“-Ansätze, „*wissenschaftliches Denken*“ (ebd.) und damit verbundene kognitive wissenschaftsmethodische Kompetenzen stärker als bislang zu thematisieren (vgl. Mayer, 2007, S. 177 ff.): „*minds-on*“-Experimente sind anspruchsvolle Lernherausforderungen (vgl. Otto & Mönter, 2015, S. 2 f.), die Problemlösefähigkeit voraussetzen. Experimentieren erfordert ergo nicht allein (a) *psycho-motorische fachgemäße Arbeitsweisen und Techniken*. Je nach Alter der Lernenden können auch (b) Aspekte des *Wissenschafts- bzw. Nature of Science-Verständnisses* unterrichtlich berücksichtigt werden (vgl. Duit, 2003, S. 5; Mayer, 2007, S. 178; Mayer & Ziemek, 2006, S. 5 f.; Meier & Mayer, 2011, S. 124; Nehring et al., 2016, S. 78; Nowak, Nehring, Tiemann & Upmeyer zu Belzen, 2013, S. 182 f.), die kognitiv herausfordernder sind (vgl. Schecker et al., 2016, S. 204 f.). Verschiedene Kompetenzmodellierungen fokussieren unter diesen drei Hauptdimensionen teils unterschiedliche Konstrukte und legen auch bei deren Differenzierung in Subkonstrukte andere Schwerpunkte. So beschränken sich Klahr (2000) und Mayer et al. (2008) auf kognitive Komponenten, wobei sie einen Schwerpunkt auf (c) *naturwissenschaftliche Denkweisen* („*scientific reasoning*“; Mayer, 2007, S. 178) der Erkenntnisgewinnung legen.

Angesichts dieser drei mental unterschiedlich anspruchsvollen Dimensionen (vgl. Mayer & Ziemek, 2006, S. 5) ist zu klären, ob Experimente im schulischen Rahmen *grundsätzlich* als Problemlösevorgang anzusehen sind. Dörners Unterscheidung zwischen „Aufgaben“ und „Problemen“ kann diese Frage zu beantworten helfen (vgl. Franke-Braun, 2008, S. 53): Während beiden ein unerwünschter Ausgangszustand und ein angestrebter Zielzustand gemeinsam ist, sind bei „Problemen“ zu Beginn die Operatoren zur Überwindung der Barriere zwischen den beiden Zuständen nicht bekannt (vgl. Abschnitt 3.1, Box 3-1 und Abbildung 3-1). Betrachtet man die Arbeitsaufträge im mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Unterricht genauer, so lässt sich feststellen, dass in vielen Fällen ein Abarbeiten von Vorgaben vorgesehen ist (vgl. Abschnitt 4.9.7.1; s. auch Metzger & Sommer, 2010). Die Notwendigkeit, in *minds-on*-Experimenten selbst kognitiv aktiv zu werden, Ideen zu sammeln und auszuprobieren sowie Methoden zur Problemlösung reflexiv anzuwenden (vgl. Franke-Braun, 2008, S. 64), ist nicht immer gegeben. Hieraus ergibt sich, dass – sowohl von Schülern durchgeführte als auch von der Lehrkraft präsentierte – Experimente angesichts der spezifischen Aufgabenmerkmale keineswegs stets als Problemlösen klassifiziert werden können, v. a. wenn es sich lediglich um „*hands-on*“-Schülerexperimente handelt.

3.3.1 Das „*Scientific Discovery as Dual Search*“ (SDDS) – Modell

Das von Klahr (2000) mitbegründete, in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung äußerst populäre *SDDS-Modell* charakterisiert den Problemlöseprozess beim Experimentieren als „*Scientific Discovery as Dual Search*“ (vgl. auch Hammann, 2004; Hammann, 2007; Hammann et al., 2007): Der Ausgangszustand ist ein naturwissenschaftliches Phänomen – ein Effekt, dessen kausale Ursache durch eine methodologisch angemessene, also epistemologisch adäquate Untersuchung geklärt werden soll. Ziel ist, eine plausible und empirisch begründete, also logische Aussage über Ursache-Wirkungszusammenhänge aus den empirischen Befunden im Hinblick auf die anfangs aufgestellte Hypothese abzuleiten. Die Suche nach dieser Problemlösung (vgl. auch Zech, 2002, S. 324) umfasst Klahr (2000) zufolge zwei *Problem(such)räume* (vgl. Hammann, 2004, S. 198 f.; Kuhn et al., 1992, S. 287; Vollmeyer, Burns & Holyoak, 1996, S. 77) und insgesamt drei große *Anforderungskomplexe* (vgl. auch Zimmerman, 2000, S. 106 ff.). Diese drei zentralen Prozesse laufen nacheinander ab (vgl. Klahr, 2000, S. 29 ff.), interferieren währenddessen aber auch miteinander (vgl. auch Lunetta, 1998, S. 255; Nehring, Nowak, Upmeyer zu Belzen & Tiemann, 2015; Wirth, Thillmann, Marschner, Gößling & Künsting, 2011, S. 14). Im Folgenden werden diese nun vorgestellt (vgl. Klahr, 2000):

Problemlöser müssen erstens in einem *Hypothesen-(Such-)Raum* nach geeigneten Vermutungen hinsichtlich kausaler Relationen zwischen Größen suchen. Diese werden entweder intuitiv oder ausgehend von unsystematischer Wahrnehmung beim explorativen Experimentieren (s. Abschnitt 2.3) formuliert oder aus bereichsspezifischem Vorwissen, oftmals auf der Basis von Analogien (vgl. Collet, 2009, S. 61; Hmelo-Silver et al., 2002, S. 233; Klahr & Simon, 1999, S. 537), abgeleitet oder recherchiert und begründet (vgl. Pfeifer, Schaffer & Sommer, 2011, S. 4) sowie im Idealfall präzisiert und bei Falsifizierung ggf. durch Alternativhypothesen ersetzt (vgl. Hammann, 2004, S. 198). Hier zeigt sich, wie bedeutsam es ist, im Unterricht für ein erfolgreiches Durchlaufen der *präexperimentellen Phase* (vgl. Neber & Anton, 2008) zuvor eine entsprechende *Wissensbasis* aufzubauen (vgl. Baur, 2016, S. 196; Birkholz & Elster, 2016, S. 84; Horstendahl, Fischer & Rolf, 2000, S. 8; Kirschner, Sweller & Clark, 2006, S. 79; Martius et al., 2016, S. 221, 227; Mietzel, 2007, S. 320; Schwichow, Christoph & Härtig, 2015, S. 349). Beim Durcharbeiten des Suchraums ist auch essentiell, eine Forschungsfrage zu kennen, im Idealfall auf hohem Niveau selbst zu generieren (vgl. Chin & Chia, 2004, S. 709; Neber & Anton, 2008 b).

Zweitens muss im *Experiment(ier)-(Such-)Raum* nach geeigneten Strategien, Techniken und Apparaturen zur Planung von Ansätzen gesucht werden, die sich eignen, eine bestimmte Hypothese zu einem konkreten Ursache-Wirkungszusammenhang zu überprüfen (vgl. Hammann, 2004, S. 198 f.). Sowohl im Rahmen von forschenden als auch von bestäti-

genden Experimenten (vgl. Arnold, Kremer & Mayer, 2014, S. 86) muss bei der Suche im Experiment(such)raum eine Reihe geeigneter Ansätze erdacht werden, um entweder eine Hypothese zu prüfen oder aber einen bekannten Zusammenhang in adäquatem Experimentaldesign darzustellen. Dies veranschaulicht, dass naturwissenschaftliches, also authentisches oder forschungsanaloges Experimentieren dem allgemeinen Problemlösevorgang, also -konzept, entspricht (vgl. Henke, 2007, S. 26).

Hierfür sind wissenschaftsmethodische Kompetenzen (zuweilen als formales *wissenschaftliches Denken* bezeichnet; vgl. Koerber, 2006, S. 193) und *bereichsspezifisches Vorwissen* erforderlich (vgl. ebd., S. 199; von Aufschnaiter & Hofmann, 2014, S. 12; Glaesser, Gott, Roberts & Cooper, 2009, S. 620; Schecker & Parchmann, 2006, S. 46), das manche Autoren als inhaltsbezogenes wissenschaftliches Denken ansehen (vgl. Koerber, 2006, S. 193): Die Strategienutzung hängt u. a. auch von der *Vertrautheit der Domäne* (vgl. Abschnitt 3.3.2.2) ab und muss u. U. situativ angepasst werden (vgl. Hammann, 2004, S. 199 f.). Auch die *Spezifität der Problemlöseziele* (System-Exploration versus Erreichen eines bestimmten Zustands) beeinflusst die Nutzung der Variablenkontrollstrategie und ein mehr oder weniger systematisches Vorgehen (vgl. Vollmeyer et al., 1996, S. 88, 91 f.).

Das Durchsuchen beider Problemräume verursacht hohe *kognitive Belastung* (vgl. Kirschner et al., 2006, S. 77), die durch geeignete Unterstützungsmaßnahmen wie Impulse reduziert werden kann (vgl. Abschnitte 4.9.8.2 und 4.9.8.3).

Drittens ist die *Evidenz auszuwerten*, indem Vergleiche zwischen Prognose und tatsächlicher Beobachtung gezogen werden. Überdies muss der Problemlösende das Experiment hinsichtlich dessen internen und externen Validität beurteilen. Den Prognosen widersprechende Daten können zur Hypothesen-Revision oder ggf. sogar in einem nachfolgenden Schritt zur Modifizierung von Theorien führen (vgl. Henke, 2007, S. 27).

Diese drei von Klahr (2000) ausführlich dargelegten *Hauptprozesse experimenteller Problemlösung* (vgl. Vorholzer et al., 2016, S. 26) sind in der zeitgenössischen naturwissenschaftsdidaktischen *Science Community* allgemein anerkannt. Sie lassen sich noch weiter untergliedern (vgl. Meier & Mayer, 2012, S. 84):

Zahlreiche Autoren haben im Lauf der letzten Jahrzehnten unterschiedliche Kompetenzen aus der Theorie abgeleitet, diese definiert, konkretisiert und operationalisiert, teilweise auch zu größeren Konstrukten zusammengefasst. Forschungsaktivitäten intendieren dabei, Kompetenzstruktur-, -niveau- und -entwicklungsmodelle (weiter) zu entwickeln, zu analysieren, zu präzisieren, exakter zu differenzieren und empirisch zu validieren (z. B. Kambach & Upmeyer zu Belzen, 2016, S. 232; Meier, 2016, S.26 ff.; Meier & Mayer, 2012, S. 89 ff.; Vorholzer et al., 2016). In verschiedenen Studien wurden sie als Basis für Messinstrumente und -verfahren herangezogen, darüber hinaus für die Evaluation von Unterricht sowie für die

individuelle Lernunterstützung oder die Förderung einer ganzen Lerngruppe genutzt (vgl. Hammann, 2004; Lersch, 2007; Nawrath, Maiseyenko & Schecker, 2011). Möglichkeiten für die Differenzierung der Hauptprozesse beim Experimentieren (z. B. Klahr, 2000) werden u. a. vorgeschlagen von Arnold, Kremer und Mayer (2014, S. 85), Emden und Sumfleth (2012, S. 69, Germann et al. (1996), LISA (2003, S. 15); Mayer (2002, S. 11), Nowak, Nehring, Tiemann und Upmeyer zu Belzen (2013, S. 183 f.), Otto und Mönter (2015, S. 4).

Schreiber (2012, S. 28 ff., 35 ff.) subsummiert beispielsweise unter der Experimentierphase „Planung“ die Kompetenzen *Fragestellung klären*, *Fragestellung entwickeln*, *Erwartungen formulieren* und *Hypothese bilden*. Zur Phase „Durchführung“ zählt er die Kompetenzen *Geräte zusammenstellen*, *Versuchsordnung aufbauen*, *Messungen durchführen* und *Messungen dokumentieren*. Schmidt und Möller (2013, S. 204) ergänzen diese Liste noch um Fähigkeiten im Zusammenhang mit der *Fehleranalyse*. Die Phase „Auswertung“ setzt sich bei Schreiber (2012, S. 28 ff., 35 ff.) zusammen aus den Kompetenzen *Rohdaten grafisch, tabellarisch darstellen*, *mit Daten Berechnungen anstellen* sowie *Ergebnis interpretieren*. Das Modell für „experimentelle Kompetenz“ von Nawrath, Maiseyenko und Schecker (2011, S. 42 f.) umfasst ähnliche Teilkompetenzen, die jeweils auf drei Niveaustufen erfasst werden können (vgl. auch Maiseyenko, 2014). Manche Kompetenzen *vermitteln* Schreiber (2012, S. 35) zufolge *zwischen Phasen* – so etwa die Kompetenz *Versuchsplan entwerfen* zwischen „Planung“ und „Durchführung“ sowie *mit Problemen und Fehlern umgehen* zwischen „Durchführung“ und „Auswertung“.

3.3.2 Das „Strukturmodell zum Wissenschaftlichen Denken“ nach Mayer (2007)

Im Fokus dieses Abschnitts steht das Kompetenzmodell von Mayer (2007), das ebenfalls in verschiedenen Studien aufgegriffen, eingesetzt, geprüft und z. T. weiterentwickelt wurde und wird (z. B. Grube, 2010; Mayer et al., 2008; Meier & Mayer, 2012). Es stellt auch die konzeptionelle, jedoch um weitere Dimensionen erweiterte (s. Abschnitt 3.3.3) Grundlage für die didaktisch-methodische Gestaltung des Treatments (s. Abschnitte 6.3.3.3, 6.3.3.4 und 9.2.2) in der eigenen Interventionsstudie dar (vgl. Rösch, 2015; Roesch et al., 2015; Rösch et al., 2012). Wie die Bezeichnung andeutet, konzentriert sich dieses Modell auf die Dimension *kognitiver wissenschaftsmethodischer Kompetenzen* sensu Mayer und Ziemek (2006, S. 5). Vor diesem Hintergrund wird im Folgenden zunächst auf die Bedeutung kognitiver Komponenten im Problemlöseprozess naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung eingegangen, bevor das Modell selbst vorgestellt wird.

3.3.2.1 Kognitive Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit

Für die Überwindung der Barriere zwischen Fragestellung zu Kausalbeziehungen und deren – vorläufigen (vgl. Smith & Smith, 2009, S. 20 f.) und auf probabilistischen Überlegungen beruhenden (vgl. Abschnitt 2.1, Box 2-2) – Beantwortung durch ein geeignetes Experiment kommen zahlreiche anspruchsvolle *kognitive Operationen* zum Einsatz (vgl. auch Arnold & Kremer, 2012, S. 16; Härtig et al., 2017, S. 4; Klahr, 2000, S. 37). So umfasst eine erfolgreiche experimentelle Problemlösung u. a. folgende mentale Fähigkeiten (vgl. Gleason & Schauble, 2000, S. 345 f.; Hammann & Prenzel, 2008, S. 68):

- Identifikation bzw. Unterscheidung von *wesentlichen* und *unwesentlichen Merkmalen* bzw. *Eigenschaften der Problemsituation*, von *unabhängigen* und *abhängigen Variablen*;
- Erfassen und Formulieren sinnvoller *Fragestellungen*, die auch experimentell im Rahmen der zur Verfügung stehenden Möglichkeiten untersucht werden können;
- *Zerlegung* der Probleme in überschaubare *Teilschritte mit Unterzielen* (z. B. bei der Entwicklung und Systematisierung von Versuchsreihen);
- Festlegung von Indikatoren für Effekte auf die abhängige Variable, die sich für eine Überprüfung der Hypothesen eignen (*Operationalisierung*);
- *Antizipation* möglicher Konsequenzen bzw. Effekte bei der Planung von Experimenten sowie möglicher Fehler;
- *Reflexion von Art, Reihenfolge und Anzahl notwendiger Teilschritte*, die zum Aufbau der kompletten Problembewältigungshandlung nötig sind;
- Verständnis der *Logik des Vergleichs* (z. B. von Charakteristika der Teilerperimente, von Daten und Ausgangshypothesen, von den Ergebnissen aus verschiedenen Teilerperimenten, von den Resultaten bei Messwiederholungen etc.) und *des Kontrollansatzes*;
- Verständnis von und *Fähigkeit zur Variablen-Kontrolle* – im englisch-sprachigen Raum spricht man von der VOTAT (*vary one thing at [a] time*)-Strategie (vgl. Mannel, Walpuski & Sumfleth, 2015, S. 101; Vollmeyer, Burns & Holyoak, 1996, S. 79);
- Integration von Informationen in *Argumentationsketten*;
- Ableitung von *Schlussfolgerungen* aus dem Vergleich hypothetischer Prognosen und erfassten Daten.

Diese Auflistung führt sowohl *Wissens-* und *Verständnis-* als auch *prozedurale Komponenten* kognitiver Aktivitäten vor Augen. Die prozeduralen Kompetenzen (vgl. Mayer et al., 2008, S. 65) sind grundsätzlich erlernbar (vgl. Hartig & Klieme, 2006, S. 130) und unterscheiden sich sowohl von allgemeinen kognitiven Fähigkeiten als auch von disziplinärem Faktenwissen (vgl. Baumert et al., 2001, S. 23; Klos, Henke, Kieren, Walpuski & Sumfleth, 2008, S. 318). Gleichwohl sind *spezifische Kontexte* und *naturwissenschaftliche Inhalte* erforderlich, um sie anzuwenden (vgl. Baumert et al., 2001, S. 23). Im Zusammenhang mit diesen Kontexten bzw. Domänen, in denen experimentiert wird, ist der Blick auf einige *Phänomene* interessant:

Wie u. a. Stauvermann (2008) zeigt, gibt es selbst bei strukturell identisch aufgebauten Items zur Planung zweifaktorieller Experimente inhaltsspezifische Performanzunterschiede hinsichtlich der Fähigkeit, Kontrollansätze zu berücksichtigen, Variablen zu kontrollieren und einen Vergleich von Ansätzen zu artikulieren. Angesichts dessen, dass sich zwischen den dort verwendeten Items Länge und Komplexität der Texte praktisch nicht unterscheiden, können die Performanzunterschiede nicht durch Effekte der Lesekompetenz erklärt werden, die sich grundsätzlich stark auf die Problemlösekompetenz auswirken kann (vgl. Baumert et al., 2001, S. 369). Vielmehr deuten die Unterschiede auf Einflüsse *inhaltlicher Aufgabenmerkmale* und verschiedener *Itemkontexte* auf die Strategie- und Konzeptnutzung hin.

Experimentieren setzt einige grundlegende und per se *domänenübergreifende*, also *bereichsunspezifische Kompetenzen* voraus (vgl. Mannel et al., 2015, S. 101), die auch auf andere, neuartige Domänen übertragbar sind (vgl. Kuhn et al., 1992, S. 320). Hierzu gehören Kompetenzen in Verbindung mit Kontrollansätzen, der Variablenkontrollstrategie und korrektem Schlussfolgern aus Evidenz (vgl. Kuhn et al., 1992, S. 304, 321). Erkenntnisse aus kognitionspsychologischen Untersuchungen legen allerdings nahe, dass das Lösen v. a. von komplexeren Problemen – ganz im Sinne des Kompetenzbegriffs von Weinert (2002) – darüber hinaus auch *domänenbezogene Kompetenzen* erfordert (vgl. Klieme et al., 2001, S. 188 f.). Dies kann u. a. Domänenwissen oder besondere Fähigkeiten im Zusammenhang mit domänenspezifischen situativen Herausforderungen beim Experimentieren betreffen (vgl. Hammann, 2004, S. 200). Dieser Sachverhalt findet sich in dem Verständnis von Kompetenzen wieder, das Klieme und Leutner besitzen: Sie verstehen unter Kompetenzen „kontextspezifische Leistungsdispositionen, die sich [...] auf Situationen und Anforderungen in bestimmten Domänen beziehen“ (zit. nach Klieme & Hartig, 2008, S. 14). Hieraus resultiert eine mehr oder weniger große *Bereichsspezifität* von bestimmten Kompetenzen (vgl. Mayer et al., 2008, S. 65), die u. U. einen distalen Transfer auf bereichsferne Situationen erschwert (vgl. Hartig & Klieme, 2006, S. 129).

Mit Sicherheit spielt daneben *allgemeine kognitive Leistungsfähigkeit* eine Rolle (s. u.), generell Probleme lösen zu können (vgl. Götz, Frenzel & Pekrun, 2010, S. 81; Hartig & Klieme, 2006, S. 130). Jedoch ist offensichtlich, dass kontextbezogenes Problemlösen in der Regel in

starkem Maß von domänen-, also bereichsspezifischem Wissen abhängig ist (vgl. Baumert et al., 2001, S. 369; Funke & Zumbach, 2006, S. 209; Götz et al., 2010, S. 81; Mietzel, 2007, S. 311; Schrader et al., 2008, S. 15; Wild, Hofer & Pekrun, 2006, S. 241 f.) – noch stärker als von der Qualität formaler Denkopoperationen (vgl. Hammann, 2002, S. 91; Mietzel, 2007, S. 128; Möller et al., 2002, S. 177). Das daraus resultierende Phänomen wird als „*Bandbreiten-Effektivitätsdilemma*“ bezeichnet (vgl. Baumert et al., 2001, S. 368 f.). Es erschwert prinzipiell die Erfassung von Problemlösekomponenten.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie sich das Verhältnis von domänenübergreifenden und bereichsspezifischen Kompetenzen beim Experimentieren verhält (vgl. Germann et al., 1996, S. 192; Zimmerman, 2000, S. 102 ff.). Die Befunde von Johnson und Lawson (1998) relativieren die Annahme einer dominanten Bedeutung von Domänenwissen: Sie fanden, dass wissenschaftliches Denken die Lernleistung stärker limitiert als Domänenwissen. Dies mag allerdings vermutlich in erster Linie vorwissensarme Domänen betreffen, in denen allgemeine kognitive Fähigkeiten eine größere Rolle spielen (vgl. Schrader et al., 2008, S. 15, 17). Der Zusammenhang von wissenschaftlichem Denken mit allgemeinen kognitiven Fähigkeiten ist überraschenderweise lediglich gering bis mittelstark ausgeprägt (vgl. Klos et al., 2008, S. 314 f.; vgl. auch Sodian et al., 2006, S. 13)²⁹. Experten besitzen mehr domänenspezifische Strategien, die Domänenwissen voraussetzen (vgl. Germann et al., 1996, S. 192), was in vielen Problemkontexten der Lösung sehr dienlich ist. Wie Klos et al. (2008) fanden, sind Fachwissen (zu dem auch domänenspezifisches Vorwissen gehört) und wissenschaftliches Denken im Zusammenhang mit experimentellen Kompetenzen differenzierbare Konstrukte (s. o.). Die Interkorrelation weist einen mittleren Effekt auf, woraus die Autoren schließen, dass Domänenwissen zwar eine notwendige Voraussetzung für wissenschaftliches Denken darstellt, dabei jedoch auch weitere Komponenten mitspielen.

Schauble, Glaser, Raghavan und Reiner (1992) zufolge ergibt sich ein besonders elaboriertes Verständnis naturwissenschaftlich untersuchter Systeme erst durch die *Interaktion* von umfangreichem *Domänenwissen* mit ausgeprägten *experimentellen wissenschaftsmethodischen Fähigkeiten* und dem damit verbundenen *Methodenwissen* (vgl. ebd., S. 322, 342). Insofern erscheint die Feststellung Hammanns (2004, S. 199) plausibel, dass sich „neben dem mangelnden methodischen Wissen über das Experimentieren [...] das eingeschränkte Vorwissen der Lernenden über naturwissenschaftliche Inhalte begrenzend auf experimentelle Fähigkeiten“ der Problemlösung auswirken. Dies gilt es nicht nur zu berücksichtigen, wenn Lernende

²⁹ Dies relativiert die Auffassung von Voss, Riley und Carretero (1995), die laut Zimmerman (2000, S. 104) diesbezüglich von *einer* allgemeinen intellektuellen Fähigkeit ausgehen.

eigenständig Schülerexperimente durchführen sollen – dieser Sachverhalt muss sich auch in einem Kompetenzstrukturmodell abbilden, das den Anspruch der Differenziertheit erhebt.

3.3.2.2 Beschreibung des Strukturmodells von Mayer (2007)

Das von Mayer (2007) entworfene, von Mayer et al. (2008) und Grube (2010) genutzte sowie von Meier und Mayer (2012) z. B. durch die Prozessvariable *Durchführung* verfeinerte „*Strukturmodell zum Wissenschaftlichen Denken (Scientific reasoning)*“ (Mayer, 2007, S. 181) wird dem oben beschriebenen Anspruch gerecht. Dies wird im Folgenden ausgeführt, indem die Strukturfeinheiten des Modells expliziert werden. Wissenschaftliches Denken sensu Mayer (2007, S. 178, 181 f.) befähigt zur eigenständigen Erkenntnisgewinnung im Rahmen naturwissenschaftlicher Denkweisen. Es umfasst im Hinblick auf eigenständiges Experimentieren zwei große *Bereiche*: Zum einen so genannte „*Prozessvariablen*“, zum anderen Dimensionen, die Mayer (2007) unter der Bezeichnung „*Personenvariablen*“ subsummiert. Diese Komponenten werden nun um der besseren Übersicht Willen einzeln betrachtet³⁰. Sie konstituieren einen Teil des in Abbildung 3-2 dargestellten Schemas, das dort in der vom Verfasser zum *Modell experimenteller Problemlösefähigkeit* erweiterten Version vorliegt.

„*Prozessvariablen*“ (Mayer et al., 2008, S. 65) betreffen prozedurales Wissen. Hiermit sind kognitive prozessbezogene *wissenschaftsmethodische Fähigkeiten* und ihre konkrete Anwendung („*know how*“; Bybee, 1997, S. 118) in den entscheidenden Problemphasen (s. Abschnitt 3.1) bzw. -löseschritten gemeint (vgl. Arnold, Kremer & Mayer, 2016, S. 34; Shavelson & Ruiz-Primo, 1999, S. 104). Je mehr diese nach vorausgehender Übung automatisiert ablaufen, desto mehr kann sich der Arbeitsspeicher des Gedächtnisses anderen kognitiven Aktivitäten widmen (vgl. Mietzel, 2007, S. 314)³¹. Mayer et al. (2008, S. 70 f.) konnten zeigen, dass die Korrelationen zwischen den Prozessvariablen schwach bis mittel stark ausfallen und diese somit empirisch unterscheidbare Dimensionen darstellen. Meier und Mayer (2012, S. 92 ff.) fügten evidenzbasiert noch die Dimension „*Durchführung*“ mit weiteren Teilkompetenzen hinzu.

³⁰ Tatsächlich interagieren sie bei der Problemlösung sowohl unter einander als auch mit situationalen Merkmalen (vgl. Härtig, Neumann & Erb, 2017, S. 1).

³¹ Aus kognitions- und lernpsychologischer Perspektive führt dieses Phänomen eindrücklich vor Augen, wie bedeutsam es ist, experimentelle Problemlösefähigkeit „komponentenweise“ zu fördern. Dies bedeutet ergo auch, Lernumgebungen zu Beginn möglichst einfach zu gestalten – weitere kognitive Belastung des Arbeitsspeichers zu reduzieren – sowie viele Lernaktivitäten zur Übung und somit Konsolidierung und Automatisierung wissenschaftsmethodischer Fähigkeiten einzuplanen. In Kapitel 7 werden an unterschiedlichen Stellen Schlussfolgerungen aus diesem Sachverhalt abgeleitet: u. a. was schrittweises und dabei kumulatives Lernen, Spiralcurricula, Raum für ausreichend Wiederholung und Anwendung, Ausmaß der Kontextorientierung und z. T. auch Fokussierung auf einzelne experimentelle Kompetenzen im Rahmen von Lernaufgaben betrifft.

Die kognitiven „*Personenvariablen*“ sind Mayer (2007, S. 182) zufolge als „bedeutsame Prädiktoren für die Problemlösegüte“ anzusehen. In seinem Modell beinhalten sie zum einen allgemeine kognitive Fähigkeiten, zum anderen deklaratives Wissen³², das erstens Konzepte und zweitens die Erkenntnismethode selbst tangiert (vgl. ebd., S. 181).

Laut Baumert et al. (2007, S. 118) umfassen *allgemeine*, d. h. nicht kontext-, anforderungs- oder inhaltspezifische (vgl. Schrader, Helmke & Hosenfeld, 2008, S. 9) *kognitive Fähigkeiten* Intelligenz und allgemeine Problemlösefähigkeit (vgl. Arnold, 2015, S. 279; Baumert et al., 2007, S. 124; Funke & Zumbach, 2006, S. 210; Leutner, Wirth et al., 2005, S. 30 ff.; Nehring, Nowak, Upmeyer zu Belzen & Tiemann, 2015; Souvignier & Gold, 2006, S. 147; Wild, Hofer & Pekrun, 2006, S. 240 f.; Wirth & Funke, 2005, S. 69 ff.), schlussfolgerndes und abstraktes Denken, Erkenntnisfähigkeit und das Vernetzen und Aufeinander-Beziehen von Sachverhalten (s. auch Abschnitt 4.7.1.1). Pine et al. (2006, S. 475 f.) fanden mit $r = .54$ eine starke Korrelation zwischen kognitiven Fähigkeiten und Erkenntnisgewinnungskompetenzen. Intelligenz ist dabei mehrdimensional zu verstehen und umfasst verschiedene empirisch unterscheidbare Komponenten, die auch beim experimentellen Problemlösen von Bedeutung sind: „Bearbeitungsgeschwindigkeit, Gedächtnis, Einfallsreichtum und Verarbeitungskapazität“ (Funke & Zumbach, 2006, S. 210). Einem anderen Modell zufolge (vgl. ebd.) lassen sich analytische, kreative und praktische Facetten der Intelligenz differenzieren. Diese begünstigen u. a. den Erwerb, die Integrierung und die Anwendung von Wissen durch bzw. beim Experimentieren (vgl. Wirth & Funke, 2005, S. 61 ff., 71). Künsting et al. (2008, S. 9, 13) beobachteten einen mittelstarken korrelativen Zusammenhang zwischen Intelligenz und dem Einsatz der Variablenkontrollstrategie sowie einen beinahe starken Effekt mit der Anwendung von Vorwissen (vgl. Greiff et al., 2013). Beide Zusammenhänge spielen eine wichtige Rolle bei der Hypothesengenerierung sowie der Planung und Durchführung von Experimenten. Somit begünstigt Intelligenz auch metakognitive selbstregulative Fähigkeiten beim dynamischen Problemlösen (vgl. Wirth & Funke, 2005, S. 69). Kinder zeigen i. d. R. inhaltspezifische Unterschiede bezüglich bestimmter kognitiver Kompetenzen (vgl. Möller et al., 2002, S. 177).

Bezüglich des *deklarativen Wissens* ist wie bereits angedeutet zu unterscheiden zwischen dem *Domänenwissen* – also dem bereichsspezifischen Vorwissen (vgl. Suhr, 2010, S. 10; Wild, Hofer & Pekrun, 2006, S. 240 f.) – und den *Präkonzepten bezüglich der Erkenntnismethode „Experimentieren“* (vgl. Arnold, Kremer & Mayer, 2016 b, S. 4; Hammann, 2006, S. 128; Schauble et al., 1991) per se bzw. der experimentellen Strategien (vgl. Mayer, 2007, S. 182; Mayer, 2014, S. 108 f.; Wirth, Thillmann, Marschner, Gößling & Künsting, 2011, S. 15),

³² und damit verbundenes Verständnis

womit auch diverse Aspekte des epistem(olog)ischen Wissens (vgl. Ehmer, 2008, S. 146 ff.) und *Nature of Science*-Vorstellungen (vgl. Schauble et al., 1991, S. 861) zusammenhängen (vgl. Urhahne, Kremer & Mayer, 2008, S. 72 ff.).

Das *Domänenwissen* stellt eine Komponente des *deklarativen Wissens* dar und betrifft bereichsspezifische Kenntnisse im Zusammenhang mit dem konkreten fachinhaltlichen Experimentkontext (vgl. Box 1-1). Das domänenspezifische deklarative Vorwissen strukturiert manche experimentellen Teilhandlungen bei der Problemlösung: „Ohne Faktenwissen gerät selbstständiges Experimentieren zu einem ziellosen Herumhantieren“ (Zehren et al., 2013, S. 417). Zu allererst führt eine Inkongruenz zwischen Phänomen und den Vorkenntnissen zu einem Konflikt infolge einer kognitiven Diskrepanz (vgl. Anonymus, 2005, S. 5; Berck, 2005, S. 182 f.). Anschließend gilt es, evtl. durch das Erkennen von Analogien theoretische Vorkenntnisse bewusst werden zu lassen, um diese bei der Generierung von strukturierenden epistemischen Forschungsfragen (vgl. Chin & Osborne, 2008, S. 10; Neber & Anton, 2008 a und b), bei der Formulierung von Hypothesen (vgl. Dunbar, 1993, S. 423; Hammann et al., 2007, S. 46; Lawson, 2003, S. 1393; Meier & Wellnitz, 2013, S. 7; Neber & Anton, 2008 a, S. 1803; Nehring, Nowak, Upmeier zu Belzen & Tiemann, 2015; Phan, 2007, S. 192 ff.; Suhr, 2010, S. 3 f., 10) und bei der systematischen Planung von Experimenten zur Problemlösung im spezifischen Lernkontext heranzuziehen (vgl. Di Fuccia, 2011, S. 41; Mayer, 2007, S. 182; Renkl, 2010, S. 738 f.; Zehren, Neber & Hempelmann, 2013, S. 417 f.). Benötigt wird es überdies bei der systematischen, differenzierten Beobachtung (vgl. Berck, 2005, S. 152) sowie später auch bei der Datenauswertung. Es ist außerdem eine wichtige Voraussetzung für ein angemessenes Verständnis und die sachgerechte Interpretation der Befunde sowie Integration neuer Erkenntnisse in bestehende Wissensstrukturen (vgl. von Aufschnaiter & Riemeier, 2005a, S. 7; Bybee, 1997, S. 146; Hammann et al., 2007; Meier & Mayer, 2011, S. 129; Mietzel, 2007, S. 238 ff.; Renkl, 2014, S. 16; Steiner, 2006, S. 166 ff.; Wodzinski, 2010, S. 154). Dabei ermöglicht es zum einen die vertikale Vernetzung im kumulativen Lehr-Lernprozess (vgl. Meyer, 2007, S. 203; Spörhase 2012 b, S. 50 ff.), zum anderen die Verknüpfung beim horizontalen Transfer (vgl. Horstendahl et al., 2000, S. 20). Das Problemlösen kann durch ganz *verschiedene Wissensinhalte* begünstigt werden (vgl. Funke & Zumbach, 2006, S. 209; Stark et al., 1995, S. 292): Kenntnisse zu Fakten, Zusammenhängen oder situationalen Bedingungen sowie komplexen domänenspezifischen Wissenskomplexen. Auch „bereichsspezifische Problemlöseschemata“ (ebd.) sind vorteilhaft, wenn die Problemsituation analysiert und nach bereichstypischen Problemlöseoperatoren gesucht wird. Umfangreiches Vorwissen zur Domäne oder zur experimentellen Methode kann den Speicher des Arbeitsgedächtnisses entlasten, wodurch die Selbstregulation und experimentelle Performanz insgesamt begünstigt werden (vgl. Rincke & Wodzinski, 2010, S. 242). Fehlendes domänenspezifisches Wissen

kann hingegen die Nutzung experimenteller Konzepte, Prinzipien und Strategien beeinträchtigen und die Anwendung kognitiver bzw. metakognitiver Strategien bei der Handlungsregulation negativ beeinflussen (vgl. Baumert et al., 2001, S. 28; Franke-Braun, 2008, S. 146; Hellmich & Höntges, 2010, S. 75; Künsting, Thillmann, Wirth, Fischer & Leutner, 2008, S. 11 ff.).

Neben dem Domänenwissen spielt bei der experimentellen Problemlösung *Handlungswissen um geeignete domänenübergreifende Problemlöseoperatoren* (vgl. Renkl, 2010, S. 739) eine wichtige Rolle. Handlungswissen kann z. B. Wissen um allgemeine experimentelle Designs, Strategien und Methoden betreffen. Entsprechende Kenntnisse können untergliedert werden in *prozedurales Wissen* um die Art und Weise der Strategienutzung („*know how*“; vgl. Roberts & Gott, 2003, S. 116 f.) und in *konditionales Wissen* um die Bedingungen („*know when*“) und Gründe („*know why*“; vgl. Hofstein et al., 2008, S. 64 f.; Mietzel, 2007, S. 261 ff., 315; Shavelson & Ruiz-Primo, 1999, S. 104) für die Nutzung bestimmter Handlungen und Strategien. Die Kenntnis von *best-practice*-Beispielen ist eine zentrale Voraussetzung für die erfolgreiche Suche im Experimentraum (vgl. von Aufschnaiter & Riemeier, 2005 a, S. 8; Baumann, 2014, S. 134; Klahr, 2000; Sodian, 2008, S. 453; Suhr, 2010, S. 10) und eine erfolgreiche Durchführung der Experimente (vgl. Lunetta, 1998, S. 254). Entsprechend hilfreich sind *Lösungsbeispiele* für die Analogiebildung bzw. Transferleistung (s. Abschnitt 4.9.8; vgl. auch Baumann, 2014, S. 139; Koenen, Kölbach, Emden & Sumfleth, 2014, S. 139, 146; Renkl, 2014, S. 16; Sodian, 2008, S. 455; Stark et al., 1995, S. 298; Stäudel, 2006, S. 216).

Wissenschaftstheoretisch inadäquate vorunterrichtliche Konzepte zum Experiment können diverse Fehler beim Experimentieren bedingen (vgl. Abschnitte 4.7.1.3 und 4.7.3). Deklaratives Wissen als Komponente wissenschaftlichen Denkens betrifft somit auf jeden Fall auch die mit dem Experiment-Begriff verbundenen *epistemischen Funktionen* sowie *methodologische Schritte und Strategien* (vgl. von Aufschnaiter & Hofmann, 2014, S. 12 f.; Martius et al., 2016, S. 225; Shavelson & Ruiz-Primo, 1999, S. 103; Vorholzer, 2016, S. 17 ff.; Vorholzer et al., 2016, S. 28 f.) – etwa zur Konstanthaltung von Variablen, zu Messzeitpunkten und -wiederholungen (vgl. Arnold, Kremer & Mayer, 2013; Mayer et al., 2008, S. 66). Daraus resultiert ein enger Zusammenhang zwischen verschiedenen epistemisch-konzeptuellen Überzeugungen und anderen Komponenten des *Nature of Science*-(NOS-)Verständnisses mit wissenschaftsmethodischen Kompetenzen. Zu den NOS-Aspekten gehören v. a. die Herkunft naturwissenschaftlichen Wissens, die Bedeutung der Kreativität im Zusammenhang mit Erkenntnisgewinnung, die tentative Natur naturwissenschaftlicher Erkenntnis, deren lediglich probabilistische Sicherheit sowie Weiterentwicklung (s. Box 2-2; vgl. auch Carey et al., 1989, S. 517; Hellmich & Höntges, 2010, S. 74, S. 74; Höttecke, 2004 a, S. 267, 269; Kremer & Mayer, 2009, S. 103; Kremer & Mayer, 2013, S. 94; Kremer, Urhahne & Mayer, 2008, S. 36 ff.; Kremer et al., 2013,

S. 4; Sodian, 2008, S. 459; Sodian, Thoermer, Kircher, Grygier & Günther, 2002, S. 204; Vorholzer, 2016, S. 12). Dies gilt auch für ein Verständnis der Bedeutung bzw. Unterschiedlichkeit von Theorie bzw. Hypothesen auf der einen und von Empirie auf der anderen Seite (vgl. Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002, S. 570 ff.). Zusammenfassend unterstützt ein adäquates Naturwissenschaftsverständnis somit ein tieferes Verständnis und die angemessene Anwendung experimenteller Kompetenzen (vgl. Hammann, Phan, Ehmer & Bayrhuber, 2006; Schauble et al., 1991; Sodian et al., 2006, S. 17 f.).

3.3.3 Spezifizierung des Modells für „experimentelle Problemlösefähigkeit“

„[...] successful experimentation requires the deployment of strategies for coordinating and solving a number of subgoals.“
(Gleason & Schauble, 2000, S. 345)

Das *Modell wissenschaftlichen Denkens* nach Mayer (2007) wurde im vorhergehenden Abschnitt mit Absicht ausführlich beschrieben und unter Bezug auf Autoren aus dem Bereich der Lehr-Lern-, der Unterrichts- und der psychologischen Forschung theoretisch und evidenzbasiert erläutert. Auf dieser Grundlage fällt es leichter, dieses Konstruktmodell mit dem Ziel eines Transfers auf das Konstrukt *experimentelle Problemlösefähigkeit* kritisch-konstruktiv zu analysieren, zu beurteilen und angemessen um weitere wichtige Komponenten zu ergänzen.

Bei der Konzipierung kompetenzorientierter Lernumgebungen zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit stellt sich die Frage, ob das in Abschnitt 3.3.2 dargestellte Modell ausreicht: genügen das Training wissenschaftsmethodischer Kompetenzen (vgl. Ehmer, 2008; Neber & Anton, 2008 a) sowie der Aufbau von Domänenwissen und eines adäquaten NOS-Verständnisses (vgl. Carey et al., 1989), damit Lernende erfolgreich eigenständig experimentieren können? Der Blick auf die bei Mayer und Ziemek (2006) vorgestellte Trias aus den für naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung zentralen Kompetenzdimensionen *Wissenschaftsverständnis*, *Wissenschaftliches Denken* und *Manuelle Fähigkeiten* offenbart bereits, dass Wissen und strategisches Können in einem Modell von experimenteller Problemlösefähigkeit um technische und manuelle Fertigkeiten (vgl. Bühner, 2011, S. 31) ergänzt werden müssen. Des Weiteren entbehrt das Modell von Mayer (2007) im Bereich der personenbezogenen Eigenschaften Einflussgrößen wie Emotionen und Einstellungen (z. B. selbstbezogene Kognitionen) sowie metakognitive Kompetenzen für selbstreguliertes Handeln³³. Im

³³ Da das Modell von Mayer (2007) ausschließlich wissenschaftliches Denken fokussieren möchte, stellt dieser Hinweis keine Kritik an diesem Modell an sich dar.

Folgenden werden darum Gedanken zu einer sinnvollen Erweiterung des Modells für den Kontext dieser Arbeit entwickelt und begründet.

Eigenständiges Experimentieren erfordert nicht allein die Nutzung wissenschaftsmethodischer Kompetenzen: Es stellt vielmehr einen höchst anspruchsvollen – zumindest teilweise – *selbst-regulierten Problemlöseprozess* dar (vgl. Eckhardt, 2010, S. 22; Künsting, 2007, S. 25 f.; Metzger & Sommer, 2010, S. 7; Thillmann, 2007, S. 16, 163), der hohe kognitive Belastung des Arbeitsgedächtnisses verursacht (vgl. Künsting, 2007, S. 65; Rincke & Wodzinski, 2010, S. 242) und entsprechende, mit der Selbstregulation verbundene Kompetenzen sowie Motivation erfordert (vgl. Collet, 2009, S. 24 f.; Härtig et al., 2017, S. 8; Leutner, Wirth, Klieme & Funke, 2005, S. 21; Möller, 2008, S. 264; Urhahne, 2008, S. 160; Wirth & Funke, 2005, S. 60 ff.): „Students' metacognition plays an important role in complex learning environments [...]. It requires learners to employ effective regulatory strategies to process information and solve problems [...]. Inquiry-based [science] instruction involves multiple stages [...]. Students need to set different types of goals and perform different tasks in these stages. Moreover, inquiry-based learning also requires students to adjust their goals and strategies through a recursive process in these inquiry stages” (Zhang et al., 2015, S. 530).

Was ist unter „*Selbstregulation*“ zu verstehen? Artelt, Demmrich und Baumert, 2001, S. 271) zufolge sind „Lernende, die ihr eigenes Lernen regulieren, [...] in der Lage, sich selbstständig Lernziele zu setzen, dem Inhalt und Ziel angemessene Techniken und Strategien auszuwählen und sie auch einzusetzen. Ferner halten sie ihre Motivation aufrecht, bewerten die Zielerreichung während und nach Abschluss des Lernprozesses und korrigieren – wenn nötig – die Lernstrategie“ (vgl. auch Collet, 2009, S. 32). Somit spielen selbstregulative Kompetenzen in allen Phasen des eigenständigen experimentellen Problemlöseprozesses eine entscheidende Rolle (vgl. Collet, 2009, S. 66 ff., 242).

Durch die Interaktion mit Systemen beim dynamischen Problemlösen (vgl. Leutner, Funke, Klieme & Wirth, 2005, S. 17 f.; Wirth & Funke, 2006, S. 55 f.) in realen oder computerbasierten Experimentierumgebungen ist ein höheres Maß an Handlungs- und Verarbeitungsregulation notwendig (vgl. Ullrich, 2005, S. 86) als bei anderen Lernaktivitäten bzw. Medien (vgl. Wichmann & Leutner, 2009, S. 119), die lediglich analytisches Problemlösen erfordern: Je intensiver die eigene Handlung selbstreguliert werden muss, desto weniger kann das Arbeitsgedächtnis andere Lernprozesse meistern (vgl. Rincke & Wodzinski, 2010, S. 242). Studien zufolge werden erlernte Strategien nicht spontan und automatisch angewandt, sondern nur, wenn die Regulierung der Strategien ebenfalls erlernt und eingeübt wurde (vgl. Bannert & Reimann, 2009, S. 70; Wichmann & Leutner, 2009, S. 118 f.). Die Fähigkeit zur Selbstregulation bei Lernvorgängen umfasst sowohl *kognitive* und *metakognitive*

(vgl. Mähler & Stern, 2006, S. 791) als auch *motivationale Komponenten* (vgl. Bannert & Reimann, 2009; Baumert, Artelt, Klieme & Stanat, 2002, S. 305; Gößling, 2010; Gürtler, Perels, Schmitz & Bruder, 2002, S. 223 ff.; Künsting, 2007, S. 27 ff.; Mietzel, 2007, S. 188, 261 ff.; Thillmann, 2007, S. 16 ff.; Wild, Hofer & Pekrun, 2006, S. 244 ff.). Demnach kommen, zusammengefasst, sowohl motivationalen (vgl. Mähler & Stern, 2006, S. 791) als auch metakognitiven Faktoren und dem Domänenwissen (vgl. Bannert & Reimann, 2009, S. 76) eine Moderatorfunktion bei der Strategienutzung zu (vgl. Thillmann, 2007, S. 33, 35, 169 f.; Urhahne, 2008, S. 151). Einige dieser Faktoren werden nun kurz ausgeführt und voneinander abgegrenzt.

Neben dem bereichsspezifischen Wissen (vgl. Abschnitte 3.3.2.1, 3.3.2.2 und 4.7.1.2) kommen der Selbstregulation beim Experimentieren *kognitive Lernstrategien* zugute (vgl. Baumert, Artelt, Klieme & Stanat, 2002, S. 305). Dies betrifft etwa die Dokumentation der systematischen Planung, Durchführung und Datenerhebung des Experiments sowie die Bewusstmachung und Sicherung überprüfter Zusammenhänge (vgl. Borgenheimer & Weber, 2009, S. 192 ff.; Künsting, 2007). Diese Strategien begünstigen u. a. das Abrufen von Vorwissen und die systematische Suche im Hypothesenraum (vgl. Klahr, 2000), die Tiefe der Verarbeitung und Elaboration sowie die Verankerung im Langzeitgedächtnis (vgl. Gürtler, Perels, Schmitz & Bruder, 2002, S. 236; Wild, Hofer & Pekrun, 2006, S. 245).

Die eigentliche Planung, Steuerung, Kontrolle, Evaluation und Optimierung experimenteller Strategien wird durch *metakognitive Kompetenzen* geregelt (vgl. Baumert, Artelt, Klieme & Stanat, 2002, S. 305; Hofstein et al., 2008, S. 70 f.; Götz, Frenzel & Pekrun, 2010, S. 76 f., 81; Wichmann & Leutner, 2009, S. 119). Diese sind insofern ein wichtiges Ziel unterrichtlicher Fördermaßnahmen (vgl. Schuler, 2016, S. 208 f.), bevor Lernende eigenständig Experimentieren können (vgl. Jannack et al., 2015, S. 363). Dazu gehört Bewusstsein hinsichtlich der eigenen Stärken und Grenzen bei Lern- und Gedächtnisabläufen, der individuellen Motivationen und verfügbaren Kompetenzen.

Die *motivationalen Komponenten* der Selbstregulation sind teils zeitlich stabil, teils situativ beeinflusst und umfassen u. a. das Selbstkonzept (vgl. Jannack et al., 2015, S. 365) und Selbstwirksamkeitserwartungen, subjektives Interesse sowie die aktuelle Lernmotivation (vgl. Gößling, 2010; Wirth, Thillmann, Marschner, Gößling & Künsting, 2011, S. 15 f.; Zehren et al., 2013, S. 422). Letztere kann die bewusste volitionale Fokussierung auf eine bestimmte Lernhandlung, die individuelle Einstellung gegenüber Herausforderungen und Scheitern sowie die Ungewissheitstoleranz bei ungewohnter Offenheit der Experimentiersituationen bedingen (vgl. Baumert, Artelt, Klieme & Stanat, 2002, S. 305; Mietzel, 2007, S. 349, 358 ff.; Perrez, Huber & Geißler, 2006, S. 410 f.). Auch die Teamfähigkeit und die Art der Beziehungen unter den Interaktanten beim kooperativen Experimentieren können sich auf die situative Motivation

und Selbstregulation auswirken (vgl. Härtig et al., 2017, S. 5; Mietzel, 2007, S. 395). Hohe situationale Lernmotivation und situatives Interesse führen bei den Lernenden nicht nur dazu, Problemlösungen anzugehen, sondern diese auch häufiger und länger durchzuführen (vgl. Vollmeyer & Rheinberg, 1998, S. 12). Überdies begünstigen sie die Intensität der Verarbeitung (vgl. Mietzel, 2007, S. 385; Neef in Bylebyl, Freund, Nessler & Schlüter, 2010, S. 3; Vollmeyer & Rheinberg, 1998, S. 13; Zehren, Neber & Hempelmann, 2013, S. 422) sowie die Nutzung bekannter experimenteller Strategien (vgl. Wirth, Thillmann, Marschner, Gößling & Künsting, 2011, S. 16). Insofern überrascht es nicht, dass eine positive, mittelstarke Korrelation zwischen Motivation und schulischen Leistungen zu beobachten ist (vgl. Urhahne, 2008, S. 152). Vollmeyer und Rheinberg (1998) fanden, dass Probanden ein komplexes computer-simuliertes System im Rahmen dynamischen Problemlösens (vgl. Leutner, Fleischer, Klieme & Wirth, 2005, S. 17 f.) hinsichtlich Kausalwirkungen systematischer und unter Berücksichtigung der Variablenkontrollstrategie erfolgreicher explorierten, wenn sie motivierter waren. In einem solchen Fall waren sowohl Erkenntnisgewinnungsprozesse als auch Anwendungsergebnisse qualitativ besser. Voraussetzung für die bessere Performanz waren metakognitive Aspekte der Selbstregulierung wie die Organisation und Überwachung von Denk- und Handlungsabläufen sowie die systematische Strategieverwendung (vgl. Vollmeyer & Rheinberg, 1998, S. 14). Als Komponenten der Motivation kristallisierten sich in der Studie die Faktoren Spaß bzw. Interesse an der Lernaktivität sowie die Erfolgsoptimismus vs. Misserfolgserwartung heraus, von denen jedoch lediglich die Selbstwirksamkeitserwartung eine vermittelnde Wirkung auf den Lernprozess, v. a. aber auf die Güte der Anwendung hatte (vgl. ebd., S. 20; Collet, 2009, S. 244; Möller, 2008, S. 273 f.; Nehring, Nowak, Upmeyer zu Belzen & Tiemann, 2015). Rheinberg, Vollmeyer und Burns (2001, S. 14 f.) weisen darauf hin, dass es bei höheren und längerfristigen Anforderungen (vgl. auch Renkl, 2010, S. 741) an die Selbstregulation beim Experimentieren zu Beginn durchaus Einflüsse des vorausgehenden Interesses und der Wahrnehmung als positive Herausforderung (also nicht unter- oder überfordernd) gibt. Dies fällt bei kurzfristigen, weniger anspruchsvollen Experimenten jedoch kaum ins Gewicht. Die Passung zwischen Lernvoraussetzungen und Schwierigkeitsgrad der Lernaktivitäten spielt somit eine wichtige Rolle (vgl. Aebli, 1998, S. 303).

Motivation und Interesse haben zusammenfassend gesprochen einen beachtlichen Einfluss sowohl auf die Aneignung experimenteller Problemlösefähigkeit als auch auf die situational gezeigte Performanz und Güte der Strategienutzung bzw. der Handlungsregulation i. A. (vgl. Damerau & Preisfeld, 2016, S. 339; Horstendahl et al., 2000; Möller, 2008, S. 268; Nehring, Nowak, Upmeyer zu Belzen & Tiemann, 2015; Vogt, 2007; Sumfleth, Wild, Rumann & Exeler, 2002, S. 218; Tamir, 1998, S. 782; Wild et al., 2006, S. 216).

Eine weitere personale Voraussetzung für erfolgreiches eigenständiges Experimentieren sind schließlich *Kenntnisse zu Techniken, Apparaturen und Geräten* (vgl. Härtig et al., 2017, S. 2; Mannel et al., 2015, S. 108; Meier & Wellnitz, 2013, S. 7; Schwichow et al., 2015, S. 348). Hinsichtlich sicheren Experimentierens darf auch das *Wissen um Risiken und Schutzmaßnahmen* angesichts bestimmter Substanzen, Prozeduren und Materialeigenschaften (vgl. Stripf, 2006, Bd. 1, S. 112 ff.) nicht vergessen werden. Auch hier kommt es sowohl auf inhaltlich-technisches als auch auf konditionales und prozedurales Wissen sowie auf damit verbundene psycho-motorische Fertigkeiten an, die im Modell (s. Abb. 3-2) aus Gründen der Übersichtlichkeit unter „technische und manuelle Fertigkeiten“ subsummiert werden.

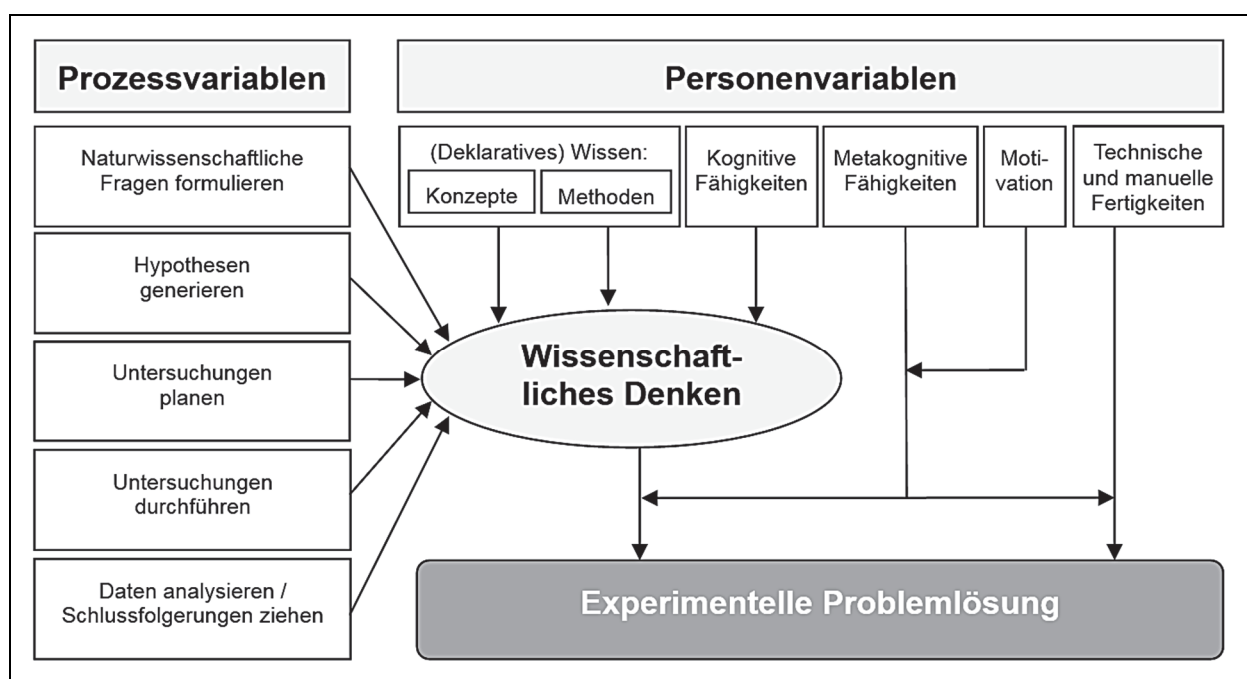


Abb. 3-2. Modell experimenteller Problemlösefähigkeit

Anmerkungen. Pfeile deuten Beeinflussung der Performanz an (Pfeile, die auf andere Pfeile zeigen, sind als moderierende Einflüsse zu interpretieren; vgl. Rost, 2007, S. 20). Im Schema sind aus Gründen der Übersichtlichkeit lediglich exemplarische Interdependenzen sowie ausgesuchte Prozessvariablen eingetragen.

Die vorausgehenden Ausführungen sprechen dafür, das „Strukturmodell zum wissenschaftlichen Denken“ (Mayer, 2007, S. 182) zumindest um die Bereiche *Metakognitive Fähigkeiten*, *Motivation* (die in diesem Kontext motivationale Einstellungen und selbstbezogene Kognitionen umfassen soll) sowie *Technische und manuelle Fertigkeiten* (inklusive damit verbundener Kenntnisse) zu einem praxisorientierten „Modell experimenteller Problemlösefähigkeit“ zu erweitern, das in Abbildung 3-2 dargestellt ist. Dieses beinhaltet nun neben den drei von Mayer und Ziemek (2006, S. 5 f.) angesprochenen sowie von Mayer (2007, S. 178) aufgegriffenen und teils paraphrasierten Kompetenzbereichen naturwissenschaftlicher Erkenntnis-

gewinnung („manuelle Fertigkeiten“ mit „wissenschaftliche[n] Arbeitstechniken“, „Wissenschaftliches Denken“ in Verbindung mit „Wissenschaftliche[n] Untersuchungen“ bzw. „Wissenschaftliche[n] Erkenntnisprozesse[n]“ sowie „Wissenschaftsverständnis“ bezüglich der „Charakteristika der Naturwissenschaften“) auch noch motivationale, volitionale sowie metakognitive Aspekte (vgl. auch Weinert, 2002).

Die schematische Darstellung in Abbildung 3-2 erhebt nicht den Anspruch, ein evidenzbasiertes Modell mit sämtlichen (Teil-)Kompetenzen und deren Interdependenzen abzubilden. Vielmehr zeigt sie stark vereinfacht und exemplarisch einige Komponenten bzw. Einflussgrößen und -zusammenhänge auf, die sich auf die Performanz experimenteller Problemlösefähigkeit auswirken können. Aus diesem Modell resultieren zum einen konkrete *Zielkriterien* von Unterricht zum Aufbau experimenteller Problemlösefähigkeit (s. Abschnitt 4.2), zum anderen sind *Lernvoraussetzungen* zu beachten (s. Abschnitt 4.7), die als Einflussgrößen förderliche oder limitierende Effekte auf die Entwicklung experimenteller Kompetenzen haben können. Im folgenden Kapitel wird dieses pragmatische Modell mit den Erkenntnissen empirischer Studien zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit in Beziehung gesetzt.

4 Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit

Wie bereits in den Abschnitten 1.1 und 1.2 ausgeführt ist der Bildungswert *experimenteller Problemlösefähigkeit* aus fachdidaktischer Sicht und mit Blick auf eine zeitgemäße Allgemeinbildung offensichtlich und zweifelsfrei legitimiert. Folgerichtig betreffen viele Bildungsstandards in den naturwissenschaftlichen Fächern, auch in Biologie (vgl. KMK, 2005 a, S. 10, 14), experimentelle Kompetenzen und fordern die gezielte Förderung entsprechender Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kenntnisse bis zum Mittleren Schulabschluss. Dies manifestiert sich auch in der Konkretisierung der Bildungspläne in den einzelnen Bundesländern (s. Abschnitt 1.4; vgl. z. B. MKJS, 2004, S. 96 f.; MKJS, 2016 a, c). In Abschnitt 1.5 wurde schon angesprochen, dass die Ergründung von Voraussetzungen für den Aufbau *experimenteller Problemlösefähigkeit* zu den zentralen Aufgaben der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung gehört, „in der nach Bedingungen [...] für Unterricht und erwünschte Wirkungen von Unterricht auf Zielkriterien gefragt wird“ (Labudde & Möller, 2012, S. 16; vgl. auch ebd. S. 18 f.; Kiel, 2010; Reiss & Ufer, 2010; Renkl, 2010; Spörhase, 2012 a, S. 14, 17 f.).

Im Mittelpunkt des vorliegenden Kapitels stehen entsprechend dem Titel und der Hauptintention dieser Arbeit Erkenntnisse zur Förderung *experimenteller Problemlösefähigkeit*. Die Darstellung des aktuellen Forschungsstands gibt einen vertiefenden und detaillierten Einblick, um einerseits die Grundlagen für die Entwicklung des Treatments EXP (s. Abschnitte 6.3.3 und 9.2.2) in der eigenen Interventionsstudie aufzuzeigen. Andererseits werden dabei auch naturwissenschaftsdidaktische Forschungsdesiderate hergeleitet, die zu den Forschungsfragen des eigenen Projekts führten. Eine wichtige Grundlage dafür bietet u. a. die zusammenfassende kriterienbezogene Synopse wichtiger im Folgenden angesprochener Interventionsstudien in Abschnitt 4.13 (s. Tab. 4-8).

Nicht fehlen darf dabei ein kritischer Blick auf die tatsächliche Schulpraxis vor dem Hintergrund der in Abschnitt 1.3 angesprochenen mäßigen Ergebnisse deutscher Lernender in früheren internationalen Schulleistungsstudien. Auf diese Weise werden einige Sachverhalte zur Sprache gebracht, die angesichts der Frage interessant sind, in welchen Bereichen der Aufbau *experimenteller Problemlösefähigkeit* im Unterricht derzeit noch nicht optimal unterstützt wird (vgl. Renkl, 2010, S. 737).

Der folgende Abschnitt gibt zunächst einen Überblick über das hochkomplexe ‚System‘ Naturwissenschaftsunterricht, der u. a. das Ziel verfolgt, *experimentelle Problemlösefähigkeit* und deren Komponenten effektiv zu fördern.

4.1 Einflüsse auf Zielkriterien von Lehr-Lernprozessen

„Ensuring that students' experiences in the laboratory are aligned with stated goals for learning demands that teachers explicitly link decisions regarding laboratory topics, activities, materials, and teaching strategies to desired outcomes for students' learning.“

(Lunetta et al., 2007, S. 424)

Spörhase (2012, a, S. 12) zufolge „bemüht sich [fachdidaktische Forschung] um alle Vorgänge und Faktoren bei der Vermittlung [und konkreten Gestaltung von Lernumgebungen] einschließlich der [...] einwirkenden Bedingungen und der davon ausgehenden Wirkungen“³⁴. Auf dieser Grundlage ist es ein erklärtes Ziel, die „wissenschaftsbasierten Empfehlungen zur Planung und Durchführung von Unterricht“ auszusprechen (ebd.). Großengießer und Kattmann (2013 a, S. 41) sprechen hinsichtlich der Planung von Naturwissenschaftsunterricht von einem „Beziehungsnetz“ wichtiger Fragen, die es zu berücksichtigen, aufeinander zu beziehen und zu klären gilt. Dies verdeutlicht die hohe Komplexität der Interdependenzen zwischen Voraussetzungen und Einflussgrößen jeglicher Lehr-Lernprozesse. In diesem ersten Abschnitt liegt es daher nahe, einen Überblick über den Rahmen aus Faktoren zu geben, deren Relevanz und Einflüsse von der Lehr-Lern-, Unterrichts- sowie entwicklungspsychologischen Forschung in den letzten Jahrzehnten analysiert wurde und wird. Das *Modell experimenteller Problemlösefähigkeit* (s. Abschnitt 3.3.3 und Abb. 3-2) sollte dabei Berücksichtigung finden. Es muss allerdings in ein umfassenderes Modell von Experimentalunterricht eingebettet werden: Bislang wurden darin lediglich zu fördernde wissenschaftsmethodische Kompetenzen angesprochen sowie Faktoren, die sich unmittelbar auf die Performanz experimenteller Problemlösefähigkeit auswirken. Ein Modell, das hingegen sowohl die Zielsetzungen als auch das Geflecht der in Experimentalunterricht wirksamen bzw. darauf einwirkenden unterrichtlichen, außerunterrichtlichen und individuellen Variablen ansprechen möchte, muss weitere Sachverhalte und Interdependenzen in den Blick nehmen.

Hierfür wird das von Rieß (2012, S. 160) für den Kontext „Experimentieren“ präzierte und mit den Überlegungen anderer Autoren (z. B. Baumert et al., 2001, S. 33; Hattie, 2013, S. 37 ff.; Helmke, 2009, S. 30; Kiel, 2010, S. 774; Neuhaus, 2007, S. 248; Petko, Waldis, Pauli & Reusser, 2003, S. 267; Rieß, 2006, S. 28) vergleichbare „*Mehrebenenanalytische Rahmenmodell*“ herangezogen, das zum einen Einflüsse und Bedingungen, zum anderen Zielkriterien für Experimentalunterricht veranschaulicht. Abbildung 4-1 (entnommen aus Rieß, 2012, S. 160) zeigt, dass Einflussfaktoren und Gelingensbedingungen nicht nur die Ebene der

³⁴ Dieses Zitat unterstreicht den systemischen Charakter von Unterricht.

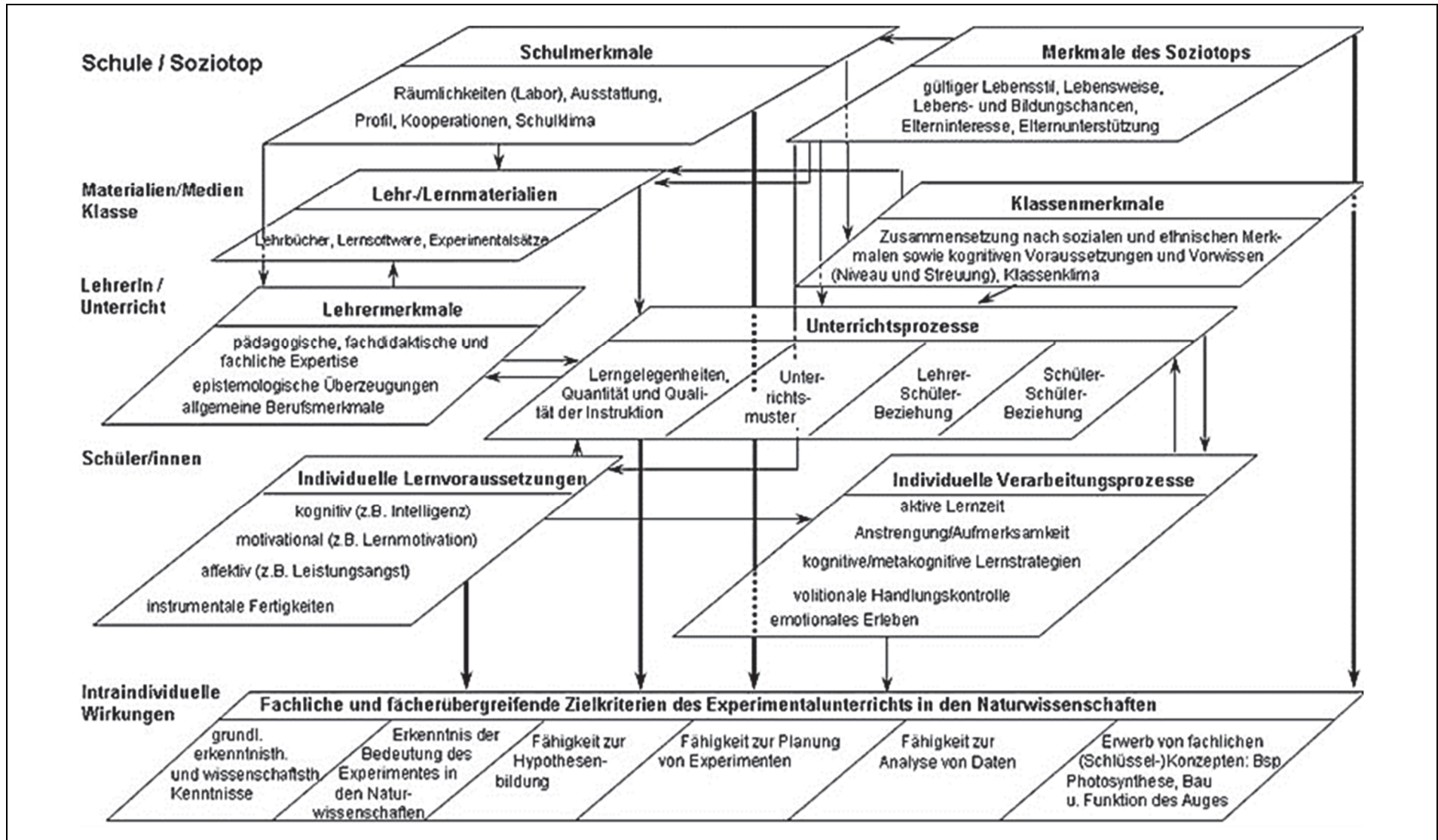


Abb. 4-1. Mehrebenenanalytisches Rahmenmodell von Bedingungsfaktoren und Einflussgrößen in Lehr-Lernprozessen mit dem Fokus auf experimentellen Kompetenzen

Lehrkraft und des Unterrichts sowie der Lernenden betreffen, sondern auch deren Kollektiv, also die Lerngruppe, Medien sowie die schulischen Rahmenbedingungen und Merkmale des Soziotops. Eine ähnliche Unterscheidung von „Produktivitätsfaktoren“ *schulischen Lernens* aus lernpsychologischer Sicht findet sich bei Souvignier und Gold (2006, S. 147), die grob zwischen „(1) Personmerkmale[n] (kognitive Fähigkeiten, Entwicklungsstand, Motivation), (2) Merkmale[n] des Unterrichts und Kontextmerkmale[n] (Quantität, Qualität [vgl. auch Hesse & Latzko, 2011, S. 96]) und (3) Kontextmerkmale[n] (Familie, Klassen-/Schulklima, Peers, Mediennutzung)“ differenziert (vgl. auch Cortina, 2006, S. 491).

Zwischen den Faktoren gibt es zahlreiche Zusammenhänge und Interaktionen, auch Ursache-Wirkungsverkettungen, indirekte Effekte und multiple Ursachen. Die schematische Darstellung des Modells von Rieß (2012) kann somit keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben: zu komplex sind die wechselseitigen Einflüsse und Abhängigkeiten. So wurde in Abbildung 4-1 nur ein Teil der bekannten Einflüsse aufgenommen, lediglich einige der Wirkungen wurden exemplarisch anhand der Pfeile kenntlich gemacht. Das Original (Rieß, 2012, S. 160) enthält als ‚Rahmen‘ des Modells noch die Bezugswissenschaften sowie die konkreten Themen und Inhalte des jeweiligen Unterrichts, die in Abbildung 4-1 lediglich aus Gründen der besseren Lesbarkeit nicht übernommen wurden.

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Ebenen des Modells von Rieß (2012) näher betrachtet. Nachdem der Fokus zunächst auf der Ebene der Zielsetzungen („Zielkriterien“) des Unterrichts liegt, stehen anschließend diverse Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren im Vordergrund, die mit der Zielerreichung in Zusammenhang stehen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden einige wichtige davon herausgegriffen, die im Hinblick auf die eigene Interventionsstudie (s. Abschnitt 6.3) von besonders großer Bedeutung sind.

4.2 Zielkriterien hinsichtlich der Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit

„[...] curriculum developers and teachers need to develop more detailed objectives derived from the broader goals; more explicit objectives will also provide guidance that helps students understand the purpose for specific activities and what they need to do consistent with those purposes. [...] Promoting these more focused but still general learning outcomes demands that teachers, curriculum developers, and researchers consider how particular laboratory experiences can promote more explicit, age-appropriate, science learning objectives. [...] Decisions regarding selection of laboratory activities and materials, adjustments in the curriculum, and appropriate teacher behaviors and strategies should be influenced by the information gathered from assessments targeted to explicitly stated objectives for student learning in the school laboratory.“ (Lunetta et al., 2007, S. 419 f.)

Nachdem in Abschnitt 3.3.3 ein recht allgemeines Kompetenzmodell experimenteller Problemlösefähigkeit vorgestellt wurde, gilt es nun noch stärker zu präzisieren, welche konkreten Zielkriterien (vgl. Abb. 4-1) im Hinblick auf *experimentelle Problemlösefähigkeit* im Naturwissenschaftsunterricht relevant sind (vgl. Vorholzer, 2016, S. 12) und durch systematisch arrangierte und adressatengerechte Lehr-Lernprozesse effektiv erreicht werden sollen. Denn: Ziele stellen den Orientierungsrahmen für die konkrete Konzeption und die auf intendierte Wirkungen ausgerichtete Durchführung von Unterricht dar (vgl. das o. g. Zitat von Lunetta et al., 2007). Darüber hinaus bilden sie den Bezugsrahmen für die Evaluation der Lernumgebung und sind der Kristallisationskeim für die Optimierung von Lehr-Lernarrangements (vgl. Spörhase, 2012 b, S. 25 ff.).

Entsprechend dem „Modell wissenschaftsmethodischer Kompetenzen“ (Mayer & Ziemek, 2006, S. 5; vgl. auch Mayer, 2007, S. 178; s. Abschnitt 3.3.2) tangieren die fokussierten Kompetenzen *drei unterschiedlich anspruchsvolle Dimensionen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung*: erstens manuelle Fertigkeiten („Arbeitstechniken“), zweitens wissenschaftliche Erkenntnismethoden und diesen zugrunde liegendes wissenschaftliches Denken sowie drittens NOS-Verständnis bezüglich der Wesensmerkmale der Naturwissenschaften (vgl. Carey et al., 1989; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002, S. 564, 574; Mayer, 2013, S. 58; Mayer, 2014, S. 112). Im Mittelpunkt des eigenen Forschungsprojekts standen kognitive Fähigkeiten: zum einen prozedurales Wissen, also prozessbezogene Kompetenzen wissenschaftlichen Denkens (vgl. Mayer, 2007, S. 178, 181; Meier & Mayer, 2012, S. 83), zum anderen deklaratives Wissen bezüglich der Epistemologie der Erkenntnismethode „Experimentieren“. Entsprechend sollen bei der weiteren Ausführung und Erläuterung Schwerpunkte gesetzt werden. Neben diesen Unterrichtszielen spielen auch selbstregulative Kompetenzen eine wichtige Rolle (vgl. Klieme & Hartig, 2008, S. 13): deren explizite Förderung stellt eine notwendige Voraussetzung für erfolgreiches experimentelles Problemlösen dar (s. Abschnitt 3.3.3; vgl. auch Collet, 2009, S. 34, 36 f., 279). Im Folgenden werden einige exemplarische wissenschaftsmethodische sowie das Wissenschaftsverständnis betreffende Zielkriterien angesprochen.

So benennt beispielsweise Arnold (2015, S. 35 ff.³⁵) einige zentrale NOS-Konzepte bzw. Aspekte des Methodenwissens³⁶ (vgl. auch Arnold et al., 2016 b, S. 4; Mayer, 2007, S. 181 f.; s. Abschnitt 3.3.2.2), die eine essentielle *domänenübergreifende Basis experimenteller Pro-*

³⁵ Da es sich um allgemeingültige Formulierungen wie „Zweck von Hypothesen“ handelt, wurden im Folgenden mit dem Ziel der besseren Lesbarkeit nicht alle „Schlagwörter“ als direktes Zitat mit Anführungsstrichen gekennzeichnet. Teilweise handelt es sich hier um Paraphrasierungen oder um entsprechend unverändert entnommene kurze Wortsequenzen aus Arnold (2015, S. 35 ff.).

³⁶ hier allerdings nicht als präzise operationalisierte Feinziele (vgl. Großengießler et al., 2010, S. 69) angegeben.

Problemlösefähigkeit bilden und deren Verständnis und erfolgreiche Anwendung somit gefördert werden müssen:

- *Zweck des Experiments*: Erkenntnisgewinnung über Kausalbeziehungen;
- *Funktion von Hypothesen* als zu begründende, prüfbare Vermutungen bezüglich Kausalbeziehungen;
- *Wesen und Funktion unabhängiger und abhängiger Variablen*, die potentielle ursächliche Faktoren bzw. Wirkungsgrößen darstellen;
- *Bedeutung systematischer Planung*, die zu aussagekräftigen Befunden führt und reproduziert werden kann;
- *Funktion der Operationalisierung abhängiger Variablen* im Hinblick auf die Erfassung von Wirkungen durch Veränderung der unabhängigen Variablen;
- *Bedeutung der systematischen Variierung unabhängiger Variablen* zur Untersuchung des Kausalzusammenhangs mit der abhängigen Variable;
- *Funktion der Kontrolle von Störgrößen*³⁷ zur Gewährleistung interner Validität;
- *Bedeutung von Wiederholungen* zur Erhöhung der Aussagekraft;
- *Bedeutung, zwischen Beschreibung und Interpretation zu differenzieren*;
- *Funktion der Datenbeschreibung* für die *Interpretation* der Befunde;
- *Wissen um die Testgütekriterien* Validität, Reliabilität und Objektivität;
- *Bedeutung der Reflexion bezüglich Validität* der Operationalisierung und *Reliabilität* der Messungen.

Weitere *domänenübergreifende experimentelle Kompetenzen* werden u. a. bei Arnold, Kremer und Mayer (2013, S. 12), LISA (2003, S. 15), Mayer (2002, S. 11 f.) sowie Meier und Mayer (2014, S. 9) angesprochen. Daneben erfordert erfolgreiches eigenständiges experimentelles Problemlösen in Abhängigkeit vom Fach bzw. unterrichtlich behandelten Themenbereich *domänenspezifische bzw. -typische* oder *-affine Kompetenzen* (s. Abschnitt 3.3.2.1; vgl. Klieme & Hartig, 2008, S. 14). Angesichts dieser Vielfalt an Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit wird deutlich, dass *Bildungsstandards* wie „planen einfache Experimente“ (KMK, 2005 a, S. 14) als zu undifferenziert erscheinen bzw. keine isolierte Kompetenz betreffen (s. Abschnitt 1.4). Didaktisch-methodische Überlegungen und Entscheidungen zur Kompetenzförderung werden jedoch nur dann angemessen gestaltet, wenn auf Ebene der Feinziele viel konkreter bzw. *präziser operationalisiert* wird (vgl. Gropengießer et al., 2011,

³⁷ vgl. auch Stäudel, Pfeifer & Sommer (2010, S. 45).

S. 68 f.).

Bei der Kategorisierung von *Wissen im Zusammenhang mit experimentellen Strategien*, die ja einen zentralen Bestandteil experimenteller Problemlösefähigkeit ausmachen, lässt sich allgemein differenzieren zwischen *deklarativem Wissen* (über den Gegenstand an sich und seine Bedeutung – „was?“, „Wozu?“), *prozeduralem Wissen* (konkrete prozessbezogene Anwendung – „wie?“), das „schwer deklarierbares Handlungswissen“ umfasst, sowie *konditionalem Wissen* (situationale Bedingungen der Strategieanwendung – „wann und warum?“; Thillmann, 2007, S. 28 f.; vgl. Mayer, 2007; s. Abschnitt 3.3.2). Mit Blick auf die von Bloom et al. in den 1970er-Jahren aufgestellte *Lernzieltaxonomie* (vgl. Mietzel, 2007, S. 432 ff.; s. auch Meyer, 1996, S. 160; Schaub & Zenke, 1995, S. 236 f.) fällt auf, dass Unterrichtsziele zum Aufbau experimenteller kognitiver Kompetenzen ganz unterschiedlich anspruchsvolle Niveaus betreffen könn(t)en³⁸. Die Performanz, welche die meisten Lernenden im besten Falle erreichen könnten, hängt ergo zwangsläufig auch davon ab, ob die Lehrperson lediglich intendiert, dass z. B. die Variablenkontrollstrategie erinnert und beschrieben oder dass sie darüber hinaus auch erkannt, erklärt, angewandt oder in Beispielen analysiert bzw. beurteilt werden kann.

Mit Blick auf die Steigerung des nachhaltigen Ertrags von Naturwissenschaftsunterricht (vgl. Kiel, 2010, S. 773; Meyer, 2008, S. 14) hinsichtlich *experimenteller Problemlösefähigkeit* (vgl. LISA, 2003; Rieß, 2012) stellt sich nun ganz allgemein die Frage, wie diese Zielkriterien erreicht werden können. Angesichts der starken Streuung der Performanz deutscher Schüler in internationalen (vgl. Seidel et al., 2007, S. 147) bzw. nationalen Schulleistungsstudien (vgl. Pant et al., 2012) ist auch speziell zu klären, wie kompetenzförderliche Lernumgebungen (vgl. Ziener & Kessler, 2012, S. 10 ff.) didaktisch-methodisch gestaltet werden können bzw. sollten, um unterschiedlich begabten und leistungsstarken Lernenden gerecht zu werden (vgl. Meyer, 2008, S. 7, 12 f.). So sieht der neue, gemeinsame Bildungsplan für die Sekundarstufe I in Baden-Württemberg (MKJS, 2016 d) sogar für (Hauptwerk-)Realschulen ein *Grund-* und ein *Mittleres Niveau* vor, an Gemeinschaftsschulen sollen Lehrkräfte mit einem zusätzlichen *Erweiterten Niveau* einen dritten Anforderungsbereich im Rahmen der institutionell vorgeschriebenen *Binnendifferenzierung* umsetzen.

Das Mehrebenenanalytische Rahmenmodell veranschaulicht in Abbildung 4-1, dass ein ganzer Strauß unterschiedlichster Bedingungen den Kompetenzerwerb beeinflussen kann. Es soll nun im Einzelnen aufgezeigt werden, *was* bei der planvollen Gestaltung kompetenzförderlicher Lernumgebungen *warum* und *inwiefern* bedacht werden sollte. Dazu werden im Folgen-

³⁸ vgl. auch die Hinweise zur Operationalisierung von Kompetenzen in Messverfahren und -instrumenten in Abschnitt 5.2.

den zum einen unmittelbar beeinflussbare Einflüssebenen (z. B. Unterrichtsprozesse), aber auch relativ unveränderliche Bedingungen (z. B. Soziotop, institutionelle Bedingungen, individuelle Verarbeitungsprozesse) angesprochen, die sich auf die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit auswirken.

4.3 Förderung zusätzlicher Kompetenzen als Verständnisgrundlage

Experimentelle Kompetenzen zu fördern, ist wie bereits angesprochen ein zentrales Ziel naturwissenschaftlichen Unterrichts. Es hat sich allerdings gezeigt, dass man als Lehrkraft bzw. in der naturwissenschaftsdidaktischen Unterrichtsforschung den Horizont weiten muss: In diesem Abschnitt wird aufgezeigt, dass bestimmte über experimentelle Kompetenzen hinausreichende Unterrichtsziele ebenso in den Blick genommen werden müssen, um eine optimale Performanz experimenteller Problemlösefähigkeit zu erreichen. Folgende Zitate skizzieren einige Beispiele solcher weiteren beachtenswerten Kompetenzen:

„[...] laboratory inquiry alone is not sufficient to enable students to construct the complex conceptual understandings of the contemporary scientific community [...]. In the laboratory, students should be encouraged to articulate and share their ideas, to help them perceive discrepancies among their ideas, those of their classmates, and those of the scientific community.”

(Hofstein et al., 2008, S. 63)

„Manipulating materials in the laboratory is not sufficient for learning contemporary scientific concepts, and this accounts for the failure of ‘cookbook’ laboratory activities and relatively unguided discovery activities to promote desired scientific understanding. Expecting students to develop scientific understanding solely through their laboratory experiences reflects misconceptions of the nature of science [...] and how people learn science.”

(Lunetta et al., 2007, S. 405)

„Das Medium des Schulversuchs kann [...] per se noch keinen Beitrag dazu leisten [sic], realitätsnahe Vorstellungen über Forschungsexperimente zu entwickeln. Auch ein hoher Grad an Selbsttätigkeit der Schüler wie beim Schülerversuch garantiert in keinem Fall ein adäquates Verständnis des Experiments als Forschungsmethode. Der Transfer von der eigenen Erfahrung auf die Vorstellung realer experimenteller Forschungsprozesse gelingt nicht, selbst wenn der Anteil an Schüleraktivität im Unterricht hoch ist [...]“.

(Höttecke, 2004 a, S. 270)

„Wenn die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler hin zu differenzierteren und adäquateren Vorstellungen entwickelt werden sollen, sind explizite unterrichtliche Interventionen nötig. Wissen über die Natur der Naturwissenschaften wird im ‚normalen‘ Unterricht nicht einfach mitgelernt [...]. Sie [die Lernenden] eignen sich relevantes Wissen zu diesem Thema kaum an, indem sie z. B. selbst experimentieren und Daten auswerten, denn sie schließen nicht vom eigenen Handeln auf das Handeln von Forschern.“

(Höttecke, 2008, S. 6; vgl. auch Henke, 2016, S. 124; Höttecke & Henke, 2010, S. 5)

Studien zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit untersuchten bislang den Zusammenhang spezifischer *zusätzlicher Kompetenzen* mit dem Training experimenteller Kompetenzen bzw. den *begünstigenden Einfluss* bestimmter didaktischer Vorgehensweisen. Hierzu gehören u. a.

- das *Nature of Science*-Verständnis (s. die o. g. Zitate; vgl. Carey et al., 1989; Grygier, 2008, 2011; Hart, Mulhall, Berry, Goughran & Gunstone, 2000; Henke, 2016; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Kremer, Urhahne & Mayer, 2008); darunter speziell
- *epistemologisches Wissen* (vgl. Ehmer, 2008, S. 64 f.) sowie
- das *Verständnis des hypothetico-deduktiven Verfahrens* als Grundlage der Experiment-Epistemologie (vgl. Lawson, 2003; Mayer, 2014, S. 109; Töpperwien & Köttker, 2008, S. 33, 58 ff.). Es umfasst die Zielsetzung, dass Lernende angeleitet werden, zunehmend eigenständig „Entscheidungen zu begründen, Prognosen abzugeben und Schlußfolgerungen [sic] zu ziehen“, Informationen zu sammeln und zu analysieren sowie Evidenz auszuwerten, mit den Vorhersagen zu vergleichen und daraus logische Schlüsse abzuleiten (Stark et al., 1995, S. 294 f., 297; vgl. auch Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002, S. 560 ff.). In der englisch-sprachigen Literatur wird dieses Unterrichtsverfahren auch als *POE-Modell* (bzw. -Schema oder -Konzept) bezeichnet, wobei die Buchstaben für die hypothetico-deduktiven Phasen Predict (Prediction) – Observe (Observation) – Explain (Explanation) stehen (vgl. Hammann, 2014, S. 103; Komorek & Duit, 2004, S. 625; Lunetta, 1998, S. 252; Lunetta et al., 2007, S. 425; Osborne, Erduran & Simon, 2004, S. R2; White & Gunstone, 1999, S. 131; Zacharia, 2005, S. 1741). Auf diese Weise kann der zentrale Zweck des Experimentierens herausgearbeitet und bewusst gemacht werden, nämlich Hypothesen zu Ursache-Wirkungszusammenhängen zu prüfen (vgl. Wellnitz & Mayer, 2012, S. 69). Der Fokus wird dabei auch darauf gelegt zu veranschaulichen, wie bei der experimentellen Erkenntnisgewinnung Theorie und Evidenz aufeinander bezogen werden (vgl. Brezmann, 2004, S. 43; Mayer, 2014, S. 109), und dass naturwissenschaftliches Wissen zu Kausalbezie-

hungen lediglich Denkmodelle darstellt, die einer empirischer Testung zu unterziehen sind. Zacharias (2005) Studie zufolge verbessert computergestützter Experimentalunterricht die Qualität der Erklärung naturwissenschaftlicher Phänomene bzw. des zugrunde liegenden Konzeptverständnisses von Kausalzusammenhängen in besonderem Maße, wenn die Nutzung der Simulationen in das POE-Schema eingebettet ist.

- Ein weiterer Unterrichtsansatz ist das *Search-Solve-Create-Share (SSCS)-Modell* (vgl. Lunetta et al., 2007, S. 424 f.). Hier untersuchen die Lernenden in Gruppen nach einer Begegnungs- und Problemfindungsphase z. B. experimentell eine Fragestellung, bereiten ggf. mit Medien eine Präsentation vor und berichten im Klassenverband als *Science Community* von dem Forschungsprojekt.
- Eine Verstehenshilfe für die unterschiedliche Natur von Theorie und Empirie können so genannte *Black-Box-Experimente* sein (vgl. Carey et al., 1989, S. 517; Gebhard et al., 2017, S. 102; Hammann & Asshoff, 2014, S. 84; Höttecke, 2008, S. 10), bei denen Hypothesen zu Ursachen von Phänomenen formuliert und einzeln überprüft werden müssen. Dieses didaktische Procedere wird bei Rösch (2012) und im EXP-Treatment der Interventionsstudie (Roesch et al., 2015) in Form des Pendelphänomens aufgegriffen (s. Abschnitt 9.2.2).

Eine bewährte Herangehensweise für die Förderung des epistemologischen und strategischen Verständnisses von Experimenten, das über die reine Methodenanwendung hinausgeht (vgl. Bybee, 2006, S. 3 f.), ist – auch im Hinblick auf ein angemessenes Wissenschaftsverständnis – die Kombination von bewusster Reflexion und Kommunikation über deren Sinn, Zweck, Ablauf und Strategien anhand von Realexperimenten (vgl. Carey et al., 1989; Ehmer, 2008; Grygier, 2008; Heidinger & Radits, 2013, S. 131; Hellmich & Höntges, 2010, S. 78; Kruse & Denk, 2015, S. 292) – „explicit and reflexive activity-based instruction“ (Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002, S. 554). Hierzu gehören Unterrichtsgespräche (vgl. Carey et al., 1989; Chen & Klahr, 1999, S. 1104 f.), stimulierende Denk- und Diskussionsimpulse (vgl. Ganser & Hammann, 2009 b, S. 382; Lunetta et al., 2007, S. 427 ff.; Zhang et al., 2004, S. 277), mehrperspektivische Auseinandersetzung, Aufzeigen von Zusammenhängen, Abstrahierung und Begriffsbildung (vgl. Khishfe & Abd-El-Khalick, S. 555, 564). Insofern findet sich auch hier ein überzeugendes Argument für *guided inquiry* (s. Abschnitte 4.9.7.5 und 4.9.8.3) und entsprechende Impulse durch die Lehrkraft oder vermittelt durch Medien. Bei Kindern kann häufig beobachtet werden, dass sie im Verlauf des Experimentierens den eigentlichen Zweck der Erkenntnistätigkeit – die Untersuchung von Kausalbeziehungen – vergessen. Hier macht es Sinn, dass die Lernbegleiter durch Anregungen helfen, vor Augen zu führen, dass es nicht um die Produktion bestimmter Effekte geht (vgl. Gleason & Schauble, 2000, S. 364; Schauble et

al., 1991), sondern vielmehr um die Prüfung von *a priori* aufgestellten Vermutungen.

Im Hinblick auf domänenspezifische Anforderungen an experimentelle Problemlösefähigkeit verwundert es, dass z. B. die *Bedeutung systemischen Denkens für die Förderung experimenteller Kompetenzen* für die komplexe Domäne *Ökologie* (nach Kenntnisstand des Verfassers) bislang noch nicht analysiert wurde. So ist aus biologiedidaktischer Sicht von großem Interesse herauszufinden, inwiefern Kompetenzen systemischen Denkens sensu Rieß und Mischo (2010) helfen könnten, bestimmte Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit effektiver aufzubauen bzw. in der Domäne anzuwenden (s. Abschnitte 6.1.7 und 6.3.1.2).

4.4 Merkmale des Soziotops

Diverse Bedingungen des *sozialisatorischen Umfelds* der Lernenden üben einen längerfristigen Einfluss auf die Disposition zum Aufbau *experimenteller Problemlösefähigkeit* aus. Hierzu zählen neben den im Folgenden genannten Faktoren u. a. auch *Einstellungen gegenüber den Naturwissenschaften* wie deren Wahrnehmung und Wertschätzung sowie das durch Bezugspersonen vorgelebte Interesse, was sich auf die Offenheit und Lernmotivation im Rahmen Forschenden Lernens auswirken kann. Auch „Anspruchsniveau bzw. Erwartungen der Eltern“ (Urhahne et al., 2008, S. 160) an ihre Kinder stehen mit dem schulischen Erfolg der Lernenden in einem beachtlichen Zusammenhang.

Wie in den PISA-Studien eingehender untersucht wurde (vgl. z. B. Prenzel, Artelt et al., 2007 b, S. 18), beeinflusst der *sozioökonomische Hintergrund der Familie* (vgl. Herpell, 2016 b, S. 3) die Ausprägung der Performanz naturwissenschaftlicher Kompetenzen, auch im Zusammenhang mit erfolgreicher Erkenntnisgewinnung (vgl. Pine et al., 2006, S. 476 f.). Es sind allerdings nicht unbedingt in erster Linie Folgen finanzieller Unterschiede: Größeren Einfluss auf die kognitive Entwicklung sowie außerschulische Kompetenzförderung in fachlicher, methodischer, personaler und sozialer Hinsicht haben vielmehr anregende und förderliche Aspekte des *Home-Learning-Environments*, welches u. a. das kulturelle Kapital der Familie sowie die Intensität und Art der Zuwendung, Unterstützung und Beschäftigung der Bezugspersonen mit den Lernenden betrifft (vgl. Spiewak, 2015, S. 34). Pädagogische Ressourcen im Elternhaus können sich – z. B. durch hochwertige Frühförderung (vgl. Hattie, 2013, S. 47, 69 f.) – speziell auf Unterschiede in der allgemeinen Problemlösefähigkeit auswirken (vgl. Hartig & Klieme, 2005, S. 87, 90). Wie Leutner, Fleischer, Spoden und Wirth (2007, S. 159) aufzeigen, bestehen große Unterschiede hinsichtlich „kriterialer und sozialer“ Aspekte, die sich somit indirekt auf die Wirksamkeit von Unterricht auswirken können: neben den sozio-

ökonomischen Verhältnissen u. a. Migrationshintergrund, Bildungsstand der Eltern oder Anregungen aufgrund des Wohnumfeldes.

4.5 Schulmerkmale

Es ist nicht davon auszugehen, dass die *Ausstattung* jeder Schule optimal sei und die *strukturellen Voraussetzungen* überall zufriedenstellend seien (vgl. Hedewig, 1990, S. 86). Sicherlich können die Handhabung spezieller Gerätschaften, der Aufbau komplexer Experimentalaufbauten und -apparaturen sowie die Durchführung bestimmter Prozeduren nur bei entsprechend guter *Infrastruktur* realisiert werden. Gleichwohl ermöglichen so genannte *low cost-Experimente* (vgl. Ostersehl, 2013 a; s. auch Lucius, 2000, S. 9; Pichler, Haas, Haider, Pöllabauer, Pietsch, Freytag et al., 2007, S. 6) selbst mit geringem finanziellen Aufwand und in gewöhnlichen Klassenzimmern, zentrale Grundlagen *experimenteller Problemlösefähigkeit* zu fördern (z. B. von Aufschnaiter & Riemeier, 2005b, S. 61 f.; Baumann, 2014, S. 58; Hedwig, 1990, S. 84; Meier, 2016, S. 259; Ostersehl, 2013 b; Rösch, 2012; Schreiber, 2005; Suhr, 2010, S. 15 f.).

Auch Merkmale des spezifischen *Schulprofils* können die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit begünstigen. In diesem Zusammenhang sind naturwissenschaftliche Züge mit höherem Stundenpool für Naturwissenschaftsunterricht, Arbeitsgemeinschaften, Teilnahme an Wettbewerben wie „Jugend forscht“ oder Initiativen wie „Science on Stage“ und Förderkurse sowie die Zusammenarbeit mit außerschulischen didaktisierten Lernorten wie Science Centern oder – meist universitär betreuten – Schülerlaboren zu nennen (vgl. Gebhard, Höttecke & Rehm, 2017, S. 3; Mayer & Ziemek, 2006, S. 11; Schließmann & Schenzer, 2005, S. 178). Wettbewerbe wie *Egg-Races* können durch ihren kompetitiven Charakter nicht nur im Klassenunterricht, sondern auch auf Schulebene die Lernmotivation der Schüler steigern (vgl. Schanze, 2009, S. 19). An manchen Schulen werden in didaktisch-methodisch aufbereiteten außerunterrichtlichen schulischen Lernsettings (vgl. Asmussen, 2007, S. 43) positive Erfahrungen gesammelt. So etwa im Rahmen interaktiver Lernangebote, welche in Experimentierstationen zusammengestellt sind. Asmussen (2007, S. 40 ff.) berichtet von der MINIPHÄNOMENTA, die Lernende in der Primarstufe in ihren Pausen freiwillig besuchen und erkunden können (s. auch Holst, 2005). Bei Dritt- und Viertklässlern verbesserte die aktive Auseinandersetzung mit den Experimenten nicht nur das in den Stationen tangierte Fachwissen (vgl. Asmussen, 2007, S. 242) und die Einstellung gegenüber naturwissenschaftlichen Aufgaben bzw. der Erkenntnismethode per se (vgl. Asmussen, 2007, S. 228, 236; Holst, 2005, S. 173 f.), sondern auch formale Kompetenzen (wie wissenschaftliches logisches Denken; vgl. Asmussen, 2007, S. 69 f.) und allgemeines produktives Experimentierverhalten (vgl. ebd., S. 71 ff.).

Von großer Bedeutung für die *Umsetzung didaktisch-methodischer Innovationen* an der eigenen Schule beispielsweise nach dem Besuch von Fortbildungen ist die *kollegiale Kooperation*. Teams aus Lehrkräften können sich als Lerngemeinschaften gegenseitig bei der Implementierung neuer Konzepte, der Herstellung und Nutzung entsprechender Medien sowie Gestaltung kompetenzförderlicher Lernumgebungen supervidieren, unterstützen, können gemeinsam reflektieren, einander konstruktiv-kritisches Feedback geben und überdies die Einführung innovativer Formen der Leistungsmessung mittragen (vgl. Maiseyenko, 2014, S. 167). Zweifelsohne spielen hier auch *Wohlwollen und Unterstützung seitens der Schulleitung* eine wichtige Rolle (vgl. ebd., S. 86; Emden & Baur, 2016, S. 10; Gräsel & Parchmann, 2004 b, S. 203 ff.; Lipowsky, 2010, S. 59, 63 ff.).

Zur Rolle des sozial-emotionalen *Schul-* sowie *Klassenklimas* ist zu sagen, dass sich Angstfreiheit auf die Schulleistung i. A. positiv auswirken kann (vgl. Martinez, 1999, S. 212), was für die Kompetenzförderung durchaus eine günstige Rahmenbedingung darstellt (s. auch Abschnitt 4.10.1). Im Gegensatz dazu kann die Beschäftigung mit „Gedanken des Ungenügens“ (Dubs, 2009, S. 227), also ein bewusstes sehr schlechtes kriteriales Selbstkonzept, die erfolgreiche Bearbeitung von Lernaufgaben beeinträchtigen. Bedingt wird dies z. B. durch die verringerte Lernmotivation (vgl. Horstendahl et al., 2000), was die Strategienutzung und Selbstregulation reduziert (vgl. Wild, Hofer & Pekrun, 2006, S. 210). Hattie (2013, S. 47) gibt einen beinahe mittelstarken Effekt des Zusammenhangs von Lernmotivation bzw. Selbstkonzept mit der Lernleistung an.

Eine weitere Rahmenbedingung resultiert aus der *äußeren Differenzierung* im deutschen Schulsystem, die bis auf Ausnahmen im Bereich der Hauptwerkreal-, Gemeinschafts- oder Gesamtschulen in der Sekundarstufe I besteht: neben sozioökonomischen und kommunal-infrastrukturellen Gründen (räumliche Nähe bestimmter Schularten bezüglich des Wohnorts) ist v. a. ein statistisch betrachtet unterschiedlich ausgeprägtes kognitives Potential Ursache der Zuordnung von Lernenden auf bestimmte Schularten (vgl. Schrader et al., 2008, S. 17). Wie bereits in Abschnitt 3.3.2.2 erwähnt beeinflussen allgemeine kognitive Fähigkeiten die Performanz und vermutlich auch den Erwerb von Kompetenzen experimentellen Problemlösens³⁹. Vor diesem Hintergrund mag die folgende Erkenntnis kaum überraschen:

Diversen Studien zufolge (z. B. Glug, 2009, S. 222; Grube, 2010, S. 66 f.; Hof, 2011, S. 94 f.; Mannel et al., 2015, S. 107; Mayer et al., 2008, S. 75; Peter, 2014, S. 96; Schulz, Prinz & Wirtz, 2012, S. 346 ff.; Walpuski, Mannel & Sumfleth, 2011, S. 239) unterscheidet sich auch die mittlere Performanz experimenteller Problemlösefähigkeit bzw. wissenschaftsmethodischer Kompetenzen zwischen Probanden *verschiedener Schularten*. Dies wurde überdies

³⁹ Diese Frage erscheint v. a. hinsichtlich der Effektivität von denjenigen Treatments interessant, bei denen wenig Lenkung und Unterstützung durch Lehrkräfte erfolgt (z. B. Hof, 2011).

für die naturwissenschaftliche Gesamtperformanz in der TIMSS-Studie (vgl. Köller et al., 2002, S. 279), den PISA-Studien (z. B. Heinze, Köller, Lüdtke, Neumann, Parchmann, Robitzsch, Rönnebeck & Schöps, 2016, S. 83; Mayer, 2004, S. 92; Prenzel et al., 2001, S. 238 ff.; Schiepe-Tiska, Schmidner & Prenzel, 2014, S. 204 f.; Watermann & Baumert, 2000, S. 203 ff.) und dem IQB-Ländervergleich (vgl. Schroeders, Hecht, Heitmann, Jansen, Kampa, Klebba, Lenski & Siegle, 2013, S. 150) beobachtet. Außerdem streuen die naturwissenschaftlichen Leistungen innerhalb der betrachteten Kohorte stark (vgl. Prenzel, Artelt et al., 2007 b, S. 5; Schiepe-Tiska et al., 2014, S. 204).

Flick (2006, S. 162 f.) kritisiert an zahlreichen Interventionsstudien, dass die dort gefundenen Effekte u. U. lediglich angesichts leistungsstarker Klassen in gut ausgestatteten Schulen und vorbildlich ausgebildeter und erfahrener Lehrkräfte zustande gekommen sein könnten und in solch einem Fall nicht repräsentativ wären. Angesichts der Vielzahl von Studien, in denen leistungsstärkere Lernende v. a. aus Gymnasien untersucht wurden (vgl. Tab. 4-8, s. Abschnitt 4.13.3), erscheint es als einleuchtend, dass die Generalisierbarkeit der Befunde aus solchen Studien eingeschränkt ist. Das heißt, dass naturwissenschaftsdidaktische Unterrichtsforschung ein breiteres Spektrum bei solchen Untersuchungsstichproben berücksichtigen und auch mehr Vergleiche der Treatment-Effektivität zwischen Schularten anstreben sollte: „Eine empirisch noch weitgehend ungeklärte Frage ist die nach der *Schulstufen- bzw. Schulformabhängigkeit von Unterrichtsqualitätsmerkmalen*“ (Labudde & Möller, 2012, S. 20; Hervorhebung durch den Verfasser). Damit ist zum einen die Frage gemeint, ob die Einflüsse bestimmter Faktoren in unterschiedlichen Altersstufen und Leistungsspektren vergleichbar sind und zum anderen, wie Förderkonzepte angesichts differenter Lernvoraussetzungen adaptiert werden müssten.

Um es auf den Punkt zu bringen: Es ist zu klären, ob in einer bestimmten Schulart erprobte Unterrichtskonzepte sich auch in anderen Schulformen mit statistisch signifikant leistungsstärkeren bzw. -schwächeren Lernenden bewähren (vgl. Gräsel & Parchmann, 2004 a, S. 179; Gräsel & Parchmann, 2004 b, S. 205), oder ob v. a. bei den anspruchsvolleren wissenschaftsmethodischen Fähigkeiten eine „schulformspezifische Leistungsentwicklung“ (Grube, 2010, S. 30, 66) zu beobachten ist. Im Hinblick auf eine zunehmende Heterogenität in Lerngruppen – z. B. in Gemeinschafts- (vgl. MKJS, 2016) oder Gesamtschulen sowie in inklusiven Lernsettings – ist diese Perspektive für naturwissenschaftsdidaktische Unterrichtsforschung wichtiger denn je zuvor.

4.6 Klassenmerkmale

„Soziale Herkunft, Migrationshintergrund und zunehmend auch regionale Rahmenbedingungen üben einen starken Einfluss auf den Bildungserfolg aus“.

(Maaz, zit. nach Herpell, 2016 a, S. 2)

Nachweislich stellen verschiedene Hintergrundvariablen wie *sprachbezogene Kompetenzen*, *Bildungsaspiration*, *sozioökonomischer Hintergrund* (s. Abschnitt 4.4) sowie *Bildungsnähe* und *-stand der Eltern* von Heranwachsenden mit Migrationshintergrund moderate Einflussfaktoren auf die schulische Leistungsentwicklung dar (vgl. Hartig & Klieme, 2005, S. 88 ff.; Kuhl, Siegle, Lenski, 2013, S. 276 ff., 294; Nehring, Nowak, Upmeier zu Belzen & Tiemann, 2015; vgl. Pöhlmann, Haag & Stanat, 2013, S. 325 ff.; Schrader et al., 2008, S. 17 f.; Schwippert & Schnabel, 2000, S. 289 ff., 295 ff.; Strauss, 2016). Schwächen in der „Beherrschung der Unterrichtssprache“ (Bayrak, Hoffmann & Ralle, 2015, S. 177) beeinträchtigen beispielsweise die Bearbeitung schriftlicher Aufgaben im Zusammenhang mit Experimenten. Ein negativer Effekt ergibt sich auch beim Erstellen von Protokollen beim Experimentieren und beim mentalen Verarbeiten fachlicher Informationen und dem sprachbasierten Konzeptverständnis – auch im Bereich des Naturwissenschaftsverständnisses (vgl. Bayrak et al., 2015, S. 178 ff.). Des Weiteren wirkt sich die Entwicklung sprachlicher Fähigkeiten auf hypothetisch-deduktive Argumentation, Wissensgenese und -organisation, Konzeptverständnis, Unterscheidung von Theorie und empirischer Evidenz, Kommunikation sowie Selbstregulation aus (vgl. Lawson, 2003, S. 1398). Klusmann und Lüdtke (2016) fanden in Mathematik, dass Lerngruppen mit hohem Anteil an Lernenden mit einer anderen Muttersprache als Deutsch bei Lehrkräften, die emotional erschöpft waren, noch niedrigere Leistungen erreichten als Lerngruppen mit mehr deutschsprachigen Lernenden bei vergleichbar ‚ausgebrannten‘ Lehrkräften.

Eine weitere Einflussgröße auf den Kompetenzerwerb ist das *Sozialverhalten der Lernenden* in Verbindung mit der *Klassenführung durch die Lehrperson*: Disziplinschwierigkeiten und zu große Klassen halten manche Lehrkräfte davon ab, regelmäßig Schülerexperimente durchzuführen (vgl. Meyer, 1986, S. 307 f.). Insofern ist von den *allgemein pädagogischen Kompetenzen von Naturwissenschaftslehrkräften* hinsichtlich der Strukturierung von Lernumgebungen und des Classroommanagements abhängig (vgl. Souvignier & Gold, 2006, S. 147), wie effektiv Forschendes Lernen ablaufen kann (vgl. Cohen, Lotan & Catanzarite, 1990, S. 212, 216; Krämer et al., 2015, S. 132).

Überdies wirkt sich das *Gemeinschaftsgefühl*, der Teamgeist der Lerngruppe auf das individuelle Lernverhalten aus. Daher gilt es z. B. auch, durch geeignete Strukturen, Aktivierung und eine entsprechend gute Atmosphäre auch leistungsschwächere bzw. in ihrem Status weniger anerkannte Lernende zu intensiverer Mitarbeit zu bewegen und darin zu unterstützen (vgl. Cohen et al., 1990, S. 224). In diesem Zusammenhang ist auch der Umgang in der Klasse mit Fehlern und Schwierigkeiten zu sehen:

Eine *positive Fehlerkultur* nimmt nicht nur die Angst (vgl. Helmke, 2009, S. 221), sich zu blamieren. Sie kann auch helfen bzw. nicht wertende Impulse geben (vgl. Stadler, 2009, S. 27), Fehlvorstellungen und mangelhafte Vorgehensweisen bei der Bearbeitung von Lernaufgaben selbst zu diagnostizieren (vgl. Hasse & Hammann, 2016, S. 21; Reiff, 2008, S. 47), aufzugreifen (vgl. Sumfleth et al., 2002, S. 208), gemeinsam zu analysieren, zu reflektieren, zu diskutieren, miteinander nach besseren Lösungen zu suchen (vgl. Haupt, 2010, S. 29; Reiff, 2008, S. 51; Urhahne, 2008, S. 156) und Fehler künftig zu vermeiden (vgl. Schacht, 2008). Dies begünstigt eine intensivere Auseinandersetzung und ein besseres Verständnis von Fakten, Konzepten und Zusammenhängen (vgl. Dubs, 2009, S. 30; Heinze & Rach, 2013; Lunetta et al., 2007, S. 428; Stäudel, 2014, S. 14; Werning & Kriwet, 1999, S. 11). Das bewusste Kennenlernen und geistige Durchdringen von Fehlerursachen und falschen Konzepten (vgl. Hasse & Hammann, 2016, S. 21) kann die Lernenden also davor bewahren, entsprechende falsche Vorgehensweisen selbst einzusetzen (vgl. Ehmer, 2008, S. 35 ff.; Neuhaus, 2011, S. 15; Stadler, 2009, S. 28; Wahser, 2007, S. 14 ff.). Entwickeln die Lernenden alleine, in Tandems oder Kleingruppen experimentelle Problemlösungen, so sind auch in Bezug auf die experimentelle Methode größere Lerneffekte zu beobachten, wenn eine „Fehlerkorrektur durch Feedback“ (Walpuski & Sumfleth, 2007, S. 188 f.) erfolgt (vgl. ebd., S. 192; Harms, 2016, S. 3 f.; Urhahne, 2008, S. 155; Walpuski, 2006, S. 116): diese kann z. B. das kurze Vorstellen angemessener Lösungen, Rückmeldung zu den spezifischen Vorgehensweisen auf Rückfrage („responsive Lehrerintervention“; Walpuski & Sumfleth, 2007, S. 189) und Anregungen zur Fehleranalyse umfassen (vgl. Anton et al., 2005, S. 32). Leistungsschwächeren Lernenden sollten die tutoriellen Hilfen hinsichtlich korrekter Vorgehensweise bereits während der Gruppenarbeitsphase dargeboten werden, sodass auch sie davon noch während der Problemlösung profitieren können (vgl. Walpuski, 2006, S. 115; Walpuski & Sumfleth, 2007, S. 195). Fehler konstruktiv und reflexiv miteinzubeziehen, kann außerdem helfen, Schülerkonzepte als vorunterrichtliche Vorstellungen bewusstzumachen und anschließend gezielt weiterzuentwickeln (s. Abschnitt 4.7.1.3; vgl. Stadler, 2009, S. 29).

Die *soziale Bezugsnorm* innerhalb der konkreten Lerngruppe kann sich positiv oder negativ auf das Fähigkeitsselbstkonzept, die entsprechende Lernmotivation und das gezeigte Arbeitsverhalten auswirken: während viel leistungsstärkere Mitschüler dafür sorgen, dass das eigene

Selbstkonzept verringert wird, kann dieses angesichts vieler schwächerer Lernender in einer Klasse angehoben werden (vgl. Wild et al., 2006, S. 225 ff.). Insofern macht es Sinn, dass die Lehrkraft auch hinsichtlich der individuellen Bezugsnorm Lernfortschritte lobend zur Kenntnis nimmt und den Lernenden ihre persönlichen Fortschritte i. S. des Kompetenzerlebens vor Augen führt.

Es wurde überdies beobachtet, dass die *durchschnittliche Leistungsdisposition und -bereitschaft innerhalb einer Lerngruppe* sowohl das Lernverhalten und -vermögen der einzelnen Lernenden beeinflusst als auch die Kompetenzorientierung und das Anforderungsniveau bei der Gestaltung von Lernumgebungen (vgl. Schrader et al., 2008, S. 18 f.). Wünschenswert wäre jedoch, dass Lehrkräfte sich nicht an durchschnittlichen Lernvoraussetzungen orientieren, sondern vielmehr – soweit es möglich ist – individuell fördern bzw. auch angemessen (heraus-)fordern, sodass alle Lernenden ihre eigene, spezifische Performanzentwicklung erfahren können. Pragmatische Gesichtspunkte begrenzen im Schulalltag jedoch meist das Maß der Individualisierung des Lernens bzw. der Binnendifferenzierung.

4.7 Person(en)merkmale der Lernenden

Zweifelsfrei stellen persönliche Merkmale der Lernenden „individuelle Bedingungsfaktoren“ (Schrader, Helmke & Hosenfeld, 2008, S. 7) schulischen Lernens dar. Sie wirken sich als *Lernvoraussetzungen* bei Aufnahme- und *Verarbeitungsprozessen* in starkem Maße auf den Ertrag von Unterricht aus (vgl. auch Köller, 2016, S. 9). Diverse Schülereigenschaften beeinflussen zum einen die Disposition und Performanz von Kompetenzen, zum anderen auch individuelle Lerneffekte im Rahmen unterrichtlicher Fördermaßnahmen. So fanden beispielsweise Nehring, Nowak, Upmeier zu Belzen und Tiemann (2015), dass Kompetenzen in Zusammenhang mit Erkenntnisgewinnung zu 55 % v. a. durch *kognitive* und *motivationale* (vgl. auch Hattie, 2013, S. 57 f.), darüber hinaus auch durch *soziodemographische Charakteristika* der Lernenden erklärt werden können. Dies bedeutet, dass Konzepte zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit nicht nur die Zielkriterien (Denk- und Arbeitsweisen sowie damit verknüpftes Wissenschaftsverständnis per se) in den Blick nehmen, sondern dass die Lernumgebungen die heterogenen Lernvoraussetzungen gezielt und binnendifferenzierend in Form spezifisch gestalteter bzw. ausgewählter Medien und Lernaktivitäten berücksichtigen müssen (vgl. Nehring, Nowak, Upmeier zu Belzen & Tiemann, 2015; Wodzinski, 2007). Folglich ist auch ein wichtiges Ziel der Lehrerbildung, „fundierte Kenntnisse über Merkmale von Schülerinnen und Schülern [zu vermitteln], die den Lernerfolg fördern oder hemmen können und darüber, wie daraus Lernumgebungen differenziert zu gestalten sind“ (KMK, 2015, S. 4).

Die folgenden Abschnitte widmen sich vor diesem Hintergrund ausführlicher exemplarischen Schülereigenschaften, die im Hinblick auf die Förderung bzw. Nutzung experimenteller Problemlösefähigkeit von großer Bedeutung sind.

4.7.1 Kognitive Lernvoraussetzungen

Ob Lernende mit experimenteller Problemlösefähigkeit verbundene Kompetenzen leicht erlernen bzw. erfolgreich anwenden können, ist nicht ausschließlich auf die ‚objektive‘ Qualität der Lernumgebung zurückzuführen. Vielmehr spielt ein Spektrum verschiedener kognitiver Kompetenzen eine wesentliche Rolle. Die sich anschließenden Passagen sind jeweils einem ausgewählten kognitiven Faktor(enbündel) gewidmet.

4.7.1.1 Kognitiver Entwicklungsstand und allgemeine kognitive Fähigkeiten

„[...] man findet in der fachdidaktischen Literatur keine Hinweise darüber, ob die Schüler einer bestimmten Schulstufe überhaupt schon fähig sind, dieses oder jenes Experiment zu verstehen.“

(Wagener, 1982, S. 429 f.)

Der Ausprägungsgrad allgemeiner kognitiver Fähigkeiten lässt sich auf genetische (vgl. Roth, 2009, S. 65; Schrader et al., 2008, S. 17), epigenetische (vgl. Roth, 2009, S. 65) und sozialisationsbedingte⁴⁰ Ursachen zurückführen. Hatties (2013, S. 47, 52) Metaanalyse zufolge determiniert der aktuelle individuelle Stand der kognitiven Entwicklung mit einem sehr großen Effekt die Wahrscheinlichkeit erfolgreicher Kompetenzförderung (vgl. auch Sommer, 2014, S. 54). Dieser stellt somit eine der wichtigsten Voraussetzung dafür dar, z. B. wissenschaftlich zu denken und darauf basierende Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit zu trainieren (vgl. Sodian, 2008; Schneider, Bullock & Sodian, 1998). Dieser Sachverhalt ist auch bei der Entwicklung von Spiralcurricula zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit zu berücksichtigen (s. Abschnitte 7.2, 7.3.1, 7.3.2, 7.6.1, 7.6.2, 7.6.3 und 7.10.1; vgl. auch Eisner et al., 2017 b, S. 191), wie auch das Zitat von Wagener (1992, s. o.) anmahnt.

Zwar differiert der kognitive Entwicklungsstand innerhalb einer Kohorte nach neueren Befunden stärker als noch von Piaget angenommen (vgl. Sodian, 2008, S. 443 f.). Die

⁴⁰ z. B. durch das Maß der Anregung und Forderung in der frühen Kindheit (s. Abschnitt 4.4).

Behauptung, gleichaltrige Heranwachsende stünden auf derselben kognitiven Entwicklungsstufe, ist nach heutigem Erkenntnisstand nicht haltbar – es wird in den meisten Lerngruppen auch überdurchschnittlich leistungsstarke bzw. -schwache Lernende geben. Jedoch ist es trotzdem geboten, unterschiedlich anspruchsvolle wissenschaftsmethodische Fähigkeiten, deklaratives Domänenwissen, wissenschaftstheoretische Konzepte und epistemologische Aspekte als Unterrichtsinhalte so zu sequenzieren und über Schuljahre zu verteilen, dass zumindest die meisten Lernenden entsprechend ihres Entwicklungsstandes angemessen kumulativ domänenübergreifende experimentelle Problemlösefähigkeit und deren domänenspezifischen Komponenten aufbauen und weiterentwickeln können. Einzelne Lernende müssen entsprechend intensiver gefördert bzw. sollten gezielt weiter gefordert werden. Welche Erkenntnisse zur *altersabhängigen Entwicklung kognitiver Fähigkeiten* liegen bis dato vor?

Zahlreiche Studien (z. B. Chen & Klahr, 1999; Grygier, 2008; Klahr & Nigam, 2004; Schneider et al., 1998) belegen, dass bestimmte kognitive Voraussetzungen zum allmählichen Aufbau experimenteller Problemlösefähigkeit und für wissenschaftspropädeutischen Naturwissenschaftsunterricht (vgl. Langlet, 2013, S. 96 f.) bereits zu einem früheren Zeitpunkt gegeben sind als einst vermutet. Manche Autoren schlagen daher vor, mit der Förderung experimenteller Kompetenzen auf einfachstem Level, unter Berücksichtigung von „Vorformen“ des Experimentierens (Windt et al., 2014, S. 71) und mit zumindest regelmäßiger Begleitung bzw. Anleitung sogar in der frühkindliche Bildung im Elementar-, also *Vorschulbereich* zu beginnen und geben entsprechende Impulse für Lernumgebungen (z. B. Michalik, 2008; Schlag, 2008; Windt et al., 2014, S. 82; Wiskamp, 2008, S. 3, 8 ff.). Die im Folgenden dargelegten empirischen Befunde sprechen auf jeden Fall dafür, dass experimentelle Kompetenzen zumindest bereits in der *Grundschule* in den Blick genommen werden sollten (vgl. Koerber, 2006, S. 199)⁴¹:

Bereits im frühen Vorschulalter ist das *Kausalverständnis* als Bedingung für die Bewusstheit und Untersuchung von Ursache-Wirkungsbeziehungen ausreichend ausgebildet (vgl. Goswami & Wengenroth, 2001, S. 169, 191; Köhnlein, 1991, S. 33 ff.; Schrader et al., 2008, S. 15; Sodian, 2008, S. 447). Kinder sind demnach viel früher als in der klassischen Entwicklungspsychologie vermutet (vgl. Sodian et al., 2006, S. 11) in der Lage, Phänomene hinsichtlich Kausalbeziehungen zu interpretieren bzw. Ursache-Wirkungshypothesen zu generieren (vgl. Flick, 2006, S. 160 f.), sofern ihnen domänenspezifisches Wissen zur Verfügung steht (vgl. Hellmich & Höntges, 2010, S. 77; Sodian, 2008, S. 448). Teilfähigkeiten betreffen u. a. das Prioritäts-, Kovariations- und Ähnlichkeitsprinzip sowie das Konzept der zeitlichen Kontiguität, auf die u. a. bei Goswami und Wengenroth (2001, S. 175 ff.) näher eingegangen wird.

⁴¹ auch für diese Zielgruppe liegen diverse Unterrichts Anregungen vor (vgl. Allman, 2009; Gebauer & Schrenk, 2012; Greinstetter, 2008, S. 326; Kahlert & Demuth, 2007; Kahlert & Demuth, 2008; Landwehr, 2012)

Bereits vor dem Eintritt in die von Piaget postulierten Phasen des konkret-operativen bzw. formal-operativen Stadiums sind viele Kinder dazu befähigt, *deduktiv zu denken* und *logische Schlussfolgerungen abzuleiten* (vgl. Sodian, 2008, S. 457) bzw. aussagekräftige von konfundierten Tests zu unterscheiden (vgl. Schrader et al., 2008, S. 16; Zimmerman, 2000, S. 112 ff., 119, 137). *Schlussfolgerndes Denken* ist bei der Generierung einer plausiblen Hypothese, der Suche nach einer geeigneten experimentellen Vorgehensweise und bei der Interpretation von Befunden notwendig (vgl. Hellmich & Höntges, 2010, S. 77). Evidenzbasiertes *schlussfolgerndes Denken* als Komponente analytischer Fähigkeiten (vgl. Klieme et al., 2001, S. 186, 189) setzt die Fähigkeit voraus, Theorie und Empirie bewusst voneinander zu trennen (vgl. Kuhn et al., 1992, S. 288), um logische Schlüsse des Vergleichs i. S. der Verifikation bzw. Falsifikation abzuleiten (vgl. Hellmich & Höntges, 2010, S. 74, 76). Dies gelingt bereits Vorschulkindern im Alter von fünf oder sechs Jahren bei perfekter Kovariation der Evidenz (vgl. Sodian et al., 2006, S. 15; Zimmerman, 2000, S. 119, 137).

Die Fähigkeit, geeignete Schritte zur Zielerreichung und deren sequenziell korrekten Einsatz zu planen, reift bis zum Eintritt in die Schule besonders stark (vgl. Sodian, 2008, S. 454). Hierbei handelt es sich um eine für die Selbstregulation beim eigenständigen Experimentieren nötige *metakognitive Kompetenz*. Es gilt, solche Fähigkeiten in Verbindung mit selbstgesteuertem Lernen in entsprechenden Lernumgebungen zu trainieren (s. Abschnitt 3.3.3; vgl. Gräsel & Parchmann, 2004 a, S. 171).

Zu Beginn der Grundschulzeit sind Kinder in der Lage, *Hypothesenprüfung und Effektproduktion* auseinander zu halten (vgl. Sodian et al., 2006, S. 14), es macht jedoch Sinn, sie in Aufgaben daran zu erinnern, was der eigentliche Zweck des Experimentierens ist (vgl. Höttecke, 2004 a, S. 271; Kuhn et al., 1992, S. 292; Schauble et al., 1991): Lernende der 8. Klassenstufe stellen fast dreimal so häufig wie Viertklässler *a priori*-Hypothesen auf (vgl. Kremer & Schlüter, 2008, S. 45). Somit gilt es, die Ziele von Lernaufgaben klar zu formulieren – es geht darum, Behauptungen anhand von Evidenz zu beurteilen und experimentell gewonnene Evidenz zu interpretieren, was bereits junge Grundschul Kinder vermögen (vgl. Schrempp & Sodian, 1999, o. S.). Im Hinblick auf die unterrichtliche Realität (vgl. Abschnitte 4.7.1.3, 4.7.3, 4.8.2.1 und 4.9.3) zeigt sich hier, wie bedeutsam es ist, erstens die Funktion von (konfirmatorischen) Experimenten explizit herauszuarbeiten (vgl. Paul & Groß, 2016, S. 58 f.), zweitens der präexperimentellen Phase (vgl. Neber & Anton, 2009 b) genügend Raum zu lassen und drittens Experimente nicht schwerpunktmäßig zur Anschauung bzw. Produktion von Effekten heranzuziehen.

Die experimentelle Hypothesenprüfung erfordert neben den o. g. Fähigkeiten noch weitere Bestandteile wissenschaftlichen Denkens: die *Strategien der isolierenden Variablenkontrolle*, von *Kontrollansätzen* und des korrekten *Vergleichs* zwischen passenden Ansätzen.

Hier zeigten Studien, dass Kindern vor dem Vorschlagen eigener intern valider Experimente bereits im konkret-operationalen Stadium die Identifikation korrekter vorgegebener Vorgehensweisen gelingt (vgl. Grygier, 2008; Klahr & Nigam, 2004; Schneider et al., 1998; Sodian, 2008, S. 457 f.). Manche Lernende können beim Übergang von der Grund- auf die weiterführende Schule die Variablenkontrollstrategie also nicht nur verstehen, sondern auch bereits anwenden und auf andere Kontexte übertragen (vgl. Chen & Klahr, 1999, S. 1114). Ein basales Verständnis kann insofern schon relativ früh angebahnt werden (vgl. Hardy, Kleickmann, Koerber, Mayer, Möller, Pollmeier, Schwippert & Sodian, 2010, S. 118; Sodian et al., 2006, S. 13). Die Fähigkeit zur begründeten Auswahl aussagekräftiger unter verschiedenen präsentierten, ansonsten falschen ‚Lösungsoptionen‘ reift über die Jahre (vgl. Koerber, 2006, S. 196). Die Kompetenz zur selbstständigen Planung unkonfundierter Experimente wird den meisten Lernenden erst beim Übergang in die weiterführende Schule sowie in den Folgejahren erfolgreicher (vgl. Schauble, 1996, S. 107 ff.; Schneider et al., 1998).

Das *Verständnis multivariater Kausalität* hingegen ist in der frühen Kindheit noch nicht vorhanden. Allerdings ist ein Bewusstsein für multikausal bedingte Effekte bereits in der 6. Klassenstufe förderbar (vgl. Keselman, 2003). Dies bedeutet, dass sich komplexere Domänen wie *Ökologie*, wo Phänomenen oft ein Ursachengeflecht zugrunde liegt (vgl. ebd., S. 902; s. auch Abschnitt 6.1.3), zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit in sehr jungen Kohorten nicht eignen: Schließlich bestünde kein ausreichendes Verständnis für die Interaktion unabhängiger Variablen und Störgrößen, und die betrachteten Systeme könnten nicht angemessen modelliert werden (vgl. ebd., S. 898, 902).

Wie Arnold et al. (2013) fanden, entwickeln sich Fähigkeiten zur Gestaltung aussagekräftiger Experimente in komplexeren lebenden Systemen später als domänenübergreifende Kompetenzen zur Gestaltung von interner Validität (s. Schneider et al., 1998): Probanden in der gymnasialen Oberstufe berücksichtigen höchst selten Messwiederholungen und längere Beobachtungszeiten sowie Stichprobengröße und -effekte. Dies untermauert auch die Annahme von Moisl (1988), dass Experimente in komplexen Domänen wie *Verhaltensbiologie* und *Ökologie* höchste Anforderungen an experimentelle Problemlösefähigkeit stellen (s. Tab. 4-10) – sowohl was die Planung als auch was die Durchführung und Auswertung betrifft. Es ist zu vermuten, dass die entsprechenden Kompetenzen in Verbindung der *Einschätzung von Kriterien externer und ökologischer Validität* kognitiv anspruchsvoller sind. Bei der Recherche zu dieser Arbeit fanden sich keine Studien, in denen bislang die Förderbarkeit des Verständnisses für Aspekte der externen Validität in Wirkungsstudien untersucht worden wäre. Im Hinblick auf die Befunde von Arnold et al. (2013) stellt sich aus Sicht der Fachdidaktik die Frage, ab wann solche Kompetenzen gefördert werden können, um entsprechende Implikationen für die Gestaltung von Spiralcurricula ableiten zu können.

Mit Zimmerman (2000, S. 113) kann als Fazit dieser Ausführungen festgehalten werden, dass die Disposition verschiedener kognitiver Fähigkeiten im Lauf der Jahre zunimmt (vgl. auch Schrempf & Sodian, 1999, o. S.), die für erfolgreiches Experimentieren nötig sind (s. ebenso Kuhn, Schauble & Garcia-Mila, 1992, S. 286). Verschiedene Studien zeigen erwartungskonform qualitative Veränderungen bei diversen experimentellen wissenschaftsmethodischen Kompetenzen im Verlauf der Sekundarstufe I (vgl. Grube & Mayer, 2010, S. 161 ff.; Heimann & Neumann, 2011, S. 28, 30; Kremer, Specht, Urhahne & Mayer, 2013, S. 4; LISA, 2003, S. 26 ff.; Schneider et al., 1998). Krell und Vierarm (2016) konnten empirisch belegen, dass verschiedene experimentelle Teilkompetenzen unterschiedlich anspruchsvoll sind (vgl. auch Mayer, 2007, S. 182): Besonders herausfordernd erscheint die Fähigkeit, Evidenzen auszuwerten und angesichts eines vorgegebenen Designs korrekt zu interpretieren (vgl. ebd., S. 288 f., 293 f.). In der Studie von Peter (2014, S. 91 f.) hingegen erwiesen sich in der 5. Klassenstufe die Kompetenzen „Experiment planen“ und „Fragestellung formulieren“ als besonders anspruchsvoll. Solche Unterschiede in den Ergebnissen verschiedener Studien verwundern nicht sonderlich, da sie bei unterschiedlichen Stichproben, in unterschiedlichen Treatments und mit verschiedenen Messinstrumenten zustande gekommen sind.

Auch das *Wissenschaftsverständnis* verbessert sich nachweislich im Verlauf der Sekundarstufe I, was Kremer et al. (2007, S. 49; Kremer et al., 2013, S. 4) in der Unter- und Mittelstufe an Gymnasien untersuchten. So entwickelt sich beispielsweise das epistemische Verständnis für den angemessenen Umgang mit widersprüchlichen experimentellen Ergebnissen erst im Lauf der Zeit (vgl. Sodian, 2008, S. 458). Es bestehen deutliche Hinweise darauf, dass ein *adäquates NOS-Verständnis* eine erfolgreiche Anwendung von Erkenntnisgewinnungsmethoden und entsprechenden wissenschaftsmethodischen Kompetenzen begünstigt (s. Abschnitte 3.3.2 und 4.7.3; vgl. Kremer, Urhahne & Mayer, 2007, S. 47, Sodian et al., 2002, S. 204) und in Kombination mit experimentellen Kompetenzen gefördert werden sollte (s. Abschnitt 4.3; vgl. auch Paul & Groß, 2016, S. 59).

Wie der jeweilige Stand der kognitiven Entwicklung ist auch die *Arbeitsweise des Gedächtnisses* individuell verschieden, v. a. das Fassungsvermögen des Arbeitsspeichers im Hinblick auf das Maß der kognitiven Belastung während einer konkreten Lernaktivität (vgl. Nehring, Nowak, Upmeyer zu Belzen & Tiemann, 2012; Nehring, Nowak, Upmeyer zu Belzen & Tiemann, 2015; Unterbruner, 2007, S. 156). Im Lauf der kognitiven Entwicklung nimmt die „Arbeitsspeicherkapazität“ i. d. R. zu (Schrader et al., 2008, S. 11). Es ist ergo davon auszugehen, dass älteren Lernenden die Selbstregulation und Informationsaufnahme und Verarbeitung sowie die Vernetzung mit dem eigenen Vorwissen leichter fallen, was gerade beim offenen Experimentieren von Vorteil ist.

Zusammenfassend ist die Notwendigkeit von *Spiralcurricula zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit* durch das schrittweise kumulative Erlernen unterschiedlich anspruchsvoller experimenteller Kompetenzen angesichts der allmählichen Entwicklung kognitiver Fähigkeiten zu unterstreichen (s. Abschnitt 7.10.1; vgl. auch Emden & Baur, 2016, S. 7). Allerdings bestehen bezüglich der Gestaltung von Spiralcurricula zu bestimmten kognitiven experimentellen Kompetenzen noch Forschungsdesiderate: so ist beispielsweise fraglich, ob die Förderung der Fähigkeit, gute epistemische Fragen zu formulieren, erst in Klassenstufe 10 gelingt, wie dies Neber und Anton (2008 a und b) untersuchten. „Methoden-Werkzeuge“ (Leisen, 2003 a) wie Fragenstämme (vgl. Neber & Anton, 2008 b), Formulierungshilfen und Satz-Baukästen (vgl. Leisen, 2003 b; Naylor et al., 2010) werden auch für untere Klassenstufen angeboten. Hier gilt es, die Förderbarkeit auch bei jüngeren Lernenden zu untersuchen (vgl. Roesch et al., 2015; Rösch et al., 2012; s. Forschungsfrage F-3, Tab. 6-1, Abschnitt 6.1.7).

4.7.1.2 Domänenwissen

„Ohne Faktenwissen

*gerät selbstständiges Experimentieren
zu einem ziellosen Herumhantieren.“*

(Zehren, Neber & Hempelmann, 2013, S. 417)

Domänenspezifisches Vorwissen spielt als Personenvariable bei der Förderung und Nutzung *experimenteller Problemlösefähigkeit* in vielerlei Hinsicht eine bedeutsame Rolle (vgl. Arnold, 2015, S. 279; Franke-Braun, 2008, S. 146, 189; Hammann, 2006 b, S. 128; Künsting, Thillmann, Wirth, Fischer & Leutner, 2008, S. 11; Mayer, 2007, S. 181 f.; Nehring, Nowak, Upmeier zu Belzen & Tiemann, 2015; Rincke, Wodzinski, Hänze & Schmidt-Weigand, 2011, S. 378 f.; Stawitz, 2010, S. 152), wie in den Abschnitten 3.3.2.1 und 3.3.2.2 bereits ausführlich erläutert wurde. Angesichts dessen ist es als höchst problematisch anzusehen, dass der Anteil der „deutschen Grundschüler, die kein ausreichendes Kompetenzniveau [in naturwissenschaftlichen Domänen] erreichen“ (Strauss, 2016, S. 2), in den vergangenen Jahren gestiegen ist.

Umso mehr kommt im Rahmen problemorientierten Lernens in authentischen Kontexten (vgl. Reinmann & Mandl, 2006, S. 639 ff.) dem vorherigen gezielten Aufbau, der Aktivierung und dem Abrufen des bereits bestehenden Domänenwissens während der präexperimentellen Phase (vgl. Neber & Anton, 2008; Urhahne & Harms, 2006, S. 366) eine Schlüsselrolle zu (vgl. Dubs, 2009, S. 39; Kiel, 2010, S. 784; Meier & Mayer, 2011, S. 128 ff.).

4.7.1.3 Präkonzepte in Zusammenhang mit experimenteller Problemlösefähigkeit

Welche weiteren Ursachen neben noch nicht vorhandenen Strategien und wissenschaftsmethodischen Fähigkeiten, unvollständigem Domänenwissen und kognitiv-entwicklungspsychologischen Gründen können Lernenden das Erlernen, Verstehen und Anwenden kognitiver experimenteller Kompetenzen erschweren? Als einen zentralen Faktor führt Hammann (2004, S. 198 ff.) zeitlich relativ stabile, wissenschaftlich inadäquate *vorunterrichtliche Vorstellungen* an. Diese sorgen dafür, dass betroffene Lernende nicht erfolgreich experimentell Probleme lösen können. Da die Effekte dieser Präkonzepte die Performanz experimenteller wissenschaftsmethodischer Kompetenzen in vergleichsweise starkem Maß beeinträchtigen, werden sie hier ausführlicher behandelt. Bevor in Tabelle 4-1 (s. Abschnitt 4.7.3) eine kurze Übersicht über häufige, damit verbundene fehlerhafte vorunterrichtliche Konzepte (vgl. Weitzel, 2012 b, S. 82) bzw. mit metakognitiven Unzulänglichkeiten assoziierte Fehler gegeben wird, beleuchten die folgenden Abschnitte ausgewählte *Alltagsvorstellungen* ausführlicher.

In einer bestimmten Phase der kognitiven Entwicklung gehen Lernende beispielsweise davon aus, die wahrgenommene Wirklichkeit würde im Geiste vollkommen identisch abgebildet (vgl. Höttecke, 2004 a, S. 268), ohne dass in irgendeiner Weise eine Filterung und subjektive Verarbeitung von Informationen stattfänden, die tatsächlich jedoch durch Sinnesorgane und zentrales Nervensystem unwillkürlich erfolgen (vgl. Hammann & Asshoff, 2014, S. 39 ff.). Dieser *Naive Realismus* kann dazu führen anzunehmen, die subjektiven Vorstellungen von einem Sachverhalt, etwa einem Ursache-Wirkungszusammenhang, seien kongruent mit der Realität (vgl. Carey et al., 1898, S. 515; Kuhn, 2001, S. 3). Dies würde die Schlussfolgerung nahelegen, dass es keine Unterschiede zwischen Empirie und Theorie gäbe, wozu selbst Erwachsene noch oft tendieren (vgl. Zimmerman, 2000, S. 117 f.). Solch eine Überzeugung könnte die Fehlvorstellung begünstigen, Experimente dienten lediglich der Produktion und Veranschaulichung von Effekten (vgl. Hammann & Asshoff, 2014, S. 63, 82 f.; Schauble et al., 1991) – eine experimentelle Überprüfung von Hypothesen und eine Wissenschaftler-Gemeinschaft (vgl. Höttecke & Rieß, 2015, S. 128), im angloamerikanischen Sprachraum als *Science Community* bzw. *Scientific Community* bezeichnet, würden sich hingegen erübrigen, schließlich müsste doch die eigene Wahrnehmung und Deutung intersubjektiv gültig sein (vgl. Hammann & Asshoff, 2014, S. 41 f.; Lunetta et al., 2007, S. 409). Wer jedoch nicht zwischen Empirie und Denkmodellen, also kognitiven Schemata, differenziert, trennt beispielsweise auch nicht Interpretation von neutraler Beschreibung (vgl. Hammann & Asshoff, 2014, S. 62). Zudem ist die Tendenz größer, trotz unerwarteter Daten bzw. Beobachtungen an Denkmodellen festzuhalten oder auf Kontrollansätze zu verzichten (s. Tabelle 4-1; vgl. ebd., S. 63; Ehmer, 2008, S. 26) und nur positiv zu testen (vgl. Ehmer, 2008, S. 28).

Die Vorstellungen vieler Menschen zum Experimentieren und zu *Nature of Science*-Aspekten sind zumindest in Teilen nicht angemessen (vgl. Baur, 2016, S. 191; Carey et al., 1989; Mayer, 2007, S. 181 f.; Schauble et al., 1991). Solche Präkonzepte betreffen u. a. den vermeintlichen Sinn, Zweck, Ablauf sowie mutmaßliche Strategien des Experiments und sind meist relativ beständig (vgl. Kircher, 2010, S. 174). Daher sind adäquate epistemologische Vorstellungen zum Experimentieren und wissenschaftsmethodische Kompetenzen nicht einfach vermittelbar (vgl. Strike & Posner, 1992, S. 152 ff., 170 f.): Zahlreiche Lernende halten beharrlich an den bislang bewährten und nicht merklich bzw. nicht überzeugend in Frage gestellten Konzepten fest (vgl. Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002, S. 574). Es ist folglich wichtig, an die bestehenden Überzeugungen anzuknüpfen und den Unterricht so zu gestalten, dass die umfassende Weiterentwicklung dieser Konzepte und deren ‚konzeptuellen Umgebung‘ (Relationen und Interdependenz mit anderen Überzeugungen) begünstigt wird (vgl. Strike & Posner, 1992, S. 149, 153, 159 f., 170 f.; Widodo & Duit, 2004, S. 247). Renkl (2010, S. 743) zählt angesichts dieses Sachverhalts folgende wichtigen Bestandteile einer gezielten Weiterentwicklung auf: „(a) Aufzeigen der Unzulänglichkeit der bisherigen [Konzepte und] Strategien, (b) kognitives Modellieren (laut denkendes Vormachen) [vgl. ebd., S. 747; vgl. Cognitive Apprenticeship-Ansatz in Abschnitt 4.9.8.3], (c) informiertes Training (Information der Lernenden über Sinn, Grenzen, Einsatzmöglichkeiten etc. von Strategien [vgl. auch Neber, 2006, S. 53]), (d) Strategieerwerb in den Anwendungssituationen sehr ähnlichen Kontexten, (e) Üben unter variierenden Kontextbedingungen, (f) längerfristige Intervention“ sowie auch „die Regulation deren Einsatzes“.

Ursachen für inadäquate Vorstellungen – beispielsweise zum Zweck des Experimentierens – können u. U. auch häufig zu beobachtende, nicht reflektierte unterrichtliche Vorgehensweisen von Lehrpersonen sein, z. B. der Einsatz von Experimenten zur Veranschaulichung oder zur Effektproduktion (vgl. Niebert & Gropengießer, 2006, S. 19; Tesch & Duit, 2004, S. 62).

Wie die bereits erwähnte Übersicht in Tabelle 4-1 zeigt, führen vorunterrichtliche Vorstellungen wie die genannten zu zahlreichen Schwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren bzw. Interpretieren von Befunden und reduzieren so den Erfolg der Problemlösung.

4.7.2 Metakognitive Fähigkeiten

Fähigkeiten zur Selbstregulation des eigenen Lernprozesses spielen v. a. beim dynamischen experimentellen Problemlösen eine Rolle (vgl. Wirth & Funke, 2005, S. 71): Sie wirken sich dabei u. a. auf die Strategienutzung beim selbstständigen Experimentieren aus (s. Abschnitt 3.3.3; vgl. Harms, 2007, S. 134 ff.). Im Lauf der Vorschul- und der Schulzeit verbessern sich

die bei vielen Lernenden Mängel aufweisenden (vgl. Eckhardt, 2010) metakognitiven Fähigkeiten zunehmend (vgl. Schrader et al., 2008, S. 11), was auf voranschreitende kognitive Entwicklung und Lernprozesse zurückzuführen ist. Folglich hängt erfolgreiche experimentelle Problemlösefähigkeit in offenen Lernsituationen auch vom vorherigen Training selbstregulativer metakognitiver Kompetenzen ab (vgl. Lersch, 2007, S. 38; Souvignier & Gold, 2006, S. 163).

4.7.3 Überblick zu kognitiv bzw. metakognitiv bedingten Schülerfehlern und Fehlvorstellungen

Die vorausgehenden Abschnitte befassten sich mit kognitiven und metakognitiven Bedingungen für den effektiven Erwerb und die erfolgreiche Nutzung von Facetten experimenteller Problemlösefähigkeit. Sind positive Voraussetzungen nicht (ausreichend) erfüllt bzw. sind Alltagskonzepte nicht angemessen (vgl. Abschnitt 4.7.3), so beeinträchtigt dies erfolgreiches Experimentieren.

Jüttner und Neuhaus (2010, S. 30) betrachten die Kenntnis von solchen Schülerfehlern und zugrundeliegenden problematischen vorunterrichtlichen Vorstellungen sowie deren wahrscheinlichen Ursachen als wertvolle Komponente des *fachdidaktischen Professionswissens von Lehrkräften* (vgl. auch von Aufschnaiter et al., 2009, S. 81; Bögeholz et al., 2016, S. 42, 44, 50; Carey et al., 1989, S. 514; KMK, 2015, S. 20): An vorunterrichtliche Vorstellungen i. S. einer (moderat) konstruktivistischen Auffassung von Lernen anzuknüpfen und passgenaue Unterstützungsmaßnahmen anzubieten (vgl. Baur, 2016, S. 193; Niebert & Gropengießer, 2006, S. 8), kann den Aufbau eines angemesseneren Konzept- und Strategieverständnisses gemäß des Ansatzes der *Didaktischen Rekonstruktion* begünstigen (vgl. Gropengießer & Kattmann, 2013, S. 17; Labudde & Möller, 2012, S. 25; Marsch, Hartwig & Krüger, 2009, S. 110 ff.; Widodo & Duit, 2004, S. 233 ff., 238, 243). Des Weiteren ist auf Seiten der Lehrkraft Wissen um die kognitive Entwicklung erforderlich, schließlich treten zahlreiche der im Folgenden überblickhaft dargestellten Fehler aufgrund unzureichend entwickelter kognitiver Fähigkeiten vermehrt bei sehr jungen Probanden auf (vgl. Sodian et al., 2006, S. 12), was mit den in Abschnitt 4.7.1.1 berichteten Befunden einhergeht. Diese Wissensbasis erlaubt es, kumulative Lehr-Lernprozesse zu gestalten, die auf diagnostischer Grundlage (vgl. Hasse & Hammann, 2016) an den Präkonzepten der Lernenden anknüpfen und diese i. S. des *Conceptual Change*-Ansatzes (vgl. Gropengießer, 2013 a, S. 214; Krüger, 2007; Labudde & Möller, 2012, S. 17; Schultz-Siatkowski & Elster, 2012, S. 74; Strike & Posner, 1992) weiterentwickeln (vgl. Ganser & Hammann, 2009 b, S. 378; Harms, 2016, S. 4 ff.; Tamir, 1998, S. 773; Weitzel, 2012 b).

Tabelle 4-1 zeigt stichwortartig einige häufig zu beobachtende Defizite bzw. Schwierigkeiten. Weitere hier nicht angesprochene Fehler finden sich überblickhaft u. a. bei Keselman (2003, S. 899), Randler et al. (2015) sowie Zhang et al. (2004, S. 269 f.).

Tab. 4-1. Schwierigkeiten, Fehlvorstellungen und -strategien beim Experimentieren

Phase / Bereich	Defizit(e)	Referenzen
<i>Wissenschaftsverständnis mit Auswirkungen auf experimentelle Problemlösefähigkeit</i>		
Unausgereiftes <i>Nature of Science</i> -Verständnis in Bezug zum Experiment	Naive Präkonzepte über das Wesen der Naturwissenschaften bezüglich des Experimentierens (z. B. Kreativität der Forschenden, Epistemologie, Funktion von Experimenten, probabilistische Natur experimenteller Befunde und deren begrenzte Sicherheit bzw. Gültigkeit, Beziehung zwischen Evidenz und Theorie als rein kognitive Schemata und Denkmodelle)	Carey et al. (1989), Khishfe und Abd-El-Khalick (2002, S. 551 f., 566 ff.), Schauble et al. (1991), Widodo und Duit (2004, S. 240)
Inadäquates epistemologisches Verständnis zum Zusammenhang zwischen Experiment und Theorie	- Vorstellung, (einzelne) Experimente könnten Theorien definitiv beweisen oder falsifizieren - Vorstellung, experimentelle Befunde könnten induktiv zur Entwicklung naturwissenschaftlicher Gesetzmäßigkeiten herangezogen werden	Hammann und Asshoff (2014, S. 67), Kircher (2009, S. 796)
Unangemessenes Konzept über den Zweck von Experimenten	Ingenieur-Modus: Annahme, Experiment habe Funktion der Effekt-(Re-)Produktion (Veranschaulichung bzw. Bestätigung unumstößlich sicherer Erkenntnis) mit diversen Konsequenzen auf das Experimentierverhalten (s. u.), u. a. zielloses bzw. unsystematisches Agieren	Carey et al. (1989, S. 518), Fischer (2010, S. 422), Hammann und Mayer (2012, S. 284), Hellmich und Höntges (2010, S. 75), Kambach und Upmeyer zu Belzen (Vortrag am 16.09.2015), Koerber (2006, S. 194), Meier (2016, S. 214 f.), Paul und Groß (2016, S. 63), Ricker (2013 b, S. 10 f.), Russek, Kakoschke und Sommer (2010, S. 96 f.), Schauble et al. (1991, S. 860 ff.), Siler und Klahr (2015, S. 14 f.), Sodian et al. (2006, S. 13 f.), Tesch und Duit (2004, S. 62), Vorst und Krüger (2010, S. 177)
<i>Präexperimentelle Phase</i>		
Forschungsfrage(n)	- keine (sachdienliche[n]) Frage(n) formuliert - Fragestellung(en) schlecht formuliert (wenig elaborierte, z. B. „Warum“- oder „Wie“- statt „Kausal-explanativer“ / „konditionaler“ / „funktionaler“ Frage[n])	Mayer, Grube und Möller (2008, S. 74 f.), Neber und Anton (2008 b, S. 145 ff.), Tamir (1998, S. 771), Wellnitz und Mayer (2012, S. 69)

Hypothese	Fehlen einer Hypothese oder Formulierung ungenauer bzw. nicht falsifizierbarer Hypothesen	Baur (2016, S. 199), Hammann et al. (2006, S. 297), Niebert und Gropengießer (2006, S. 15 f.), Urhahne und Harms (2006, S. 362), Urhahne et al. (2000, S. 166)
Schwierigkeiten bei der Identifizierung und Klassifizierung von Variablen	Unklarheit, welche Größen unabhängige bzw. abhängige Variablen sind	Germann et al. (1996, S. 199)
Folgehypothesen nicht aufeinander bezogen	Keine Abgestimmtheit von Hypothesen in experimentellen Versuchsreihen	Hammann (2004, S. 200), Hammann et al. (2006, S. 298)
Eingrenzung des Hypothesensuchraums	Keine Berücksichtigung von Alternativhypothesen, z. B. aufgrund von Voreingenommenheit oder mangelndem Domänenwissen; folglich Einschränkung der Untersuchungen, fehlende Offenheit für andere Ziele beim Experimentieren	Dunbar (1993, S. 419, 423 ff.), Ehmer (2008, S. 31 f.), Gleason und Schauble (2000, S. 347), Hammann et al. (2006, S. 298), Schauble et al. (1991, S. 879)
Geringe Nutzung des Vorwissens	- Domänenspezifische Kenntnisse werden in (Gruppenarbeits-)Prozessen kaum eingebracht - Unbegründete Vermutungen anstelle von Hypothesen	Ziemek et al. (2005, S. 35) Peter (2014, S. 123)

Planung

Planung des Experiments ungeeignet	Herangehensweise unpassend, um Hypothese zu testen oder fehlende Planung	Urhahne und Harms (2006, S. 362 f.)
Epistemologisches Verständnis: keine saubere begriffliche Unterscheidung zu anderen Methoden	Fehlendes Bewusstsein für die charakteristische Logik des Experiments (nämlich Manipulation einer isolierten unabhängigen Variable bei gleichzeitiger Kontrolle von anderen Einflussgrößen zur Testung einer Kausalhypothese)	Abd-el-Khalick (2006, S. 401 f.)
Unzureichende Operationalisierung von Variablen	Variablen nicht genau spezifiziert, z. T. nicht voneinander isoliert	Keselman (2003, S. 899)
Experimentelle Kontrolle	Positives Testen (keine Realisierung von Kontrollansätzen): Theorie und Empirie werden nicht klar unterschieden, lediglich zutreffende Indizien werden gesammelt	Baur (2016), Germann et al. (1996, S. 199), Hammann et al. (2006, S. 292), Hasse und Hammann (2016, S. 20 f.), Hellmich und Höntges (2010, S. 75)
Unzureichende Betrachtung unabhängiger Variablen	Ignoranz von Störgrößen oder ggf. multifaktoriell oder sogar interaktiv bedeutsamen anderen Einflussgrößen	Wu und Hsieh (2006, S. 1293)
Unangemessener Umgang mit Variablen	Fehlerhafte Strategien beim Umgang mit Variablen: z. B. HOTAT (<i>hold one thing at [a] time</i>) oder Vertauschung von Kontroll- und Testvariable, unsystematische Variation von Variablen und damit Konfundierung; „mit-Strategie“ bei mehr als einer Einflussgröße (keine isolierte Variation); willkürliche Variation aller Faktoren – CA (change all)	Baumann (2014, S. 139 f.), Baur (2015, Vortrag am 14.09.2015), Baur (2016), Ehmer und Hammann (2007), Goswami und Wengenroth (2001, S. 191), Hammann (2004, S. 201), Hammann et al. (2006, S. 293 f.), Klahr (2000, S. 16), Vollmeyer et al. (1996, S. 79, 84), Urhahne und

		Harms (2006, S. 362), Zimmerman (2000, S. 134)
Stichprobengröße und Repräsentativität	Kein Bewusstsein für die Bedeutung des Umfangs und der Zusammensetzung der Stichprobe mit Blick auf Aussagekraft	Arnold (2015, S. 40), Arnold, Kremer und Mayer (2013, S. 17), Roberts und Gott (2003, S. 118)
Durchführung		
Fehlerhafter Aufbau	Fehlerhafte Verwendung, Kombination und Positionierung von Geräten und mangelhafter Umgang mit Apparaturen	Baumann (2014, S. 126 f.), Rumann (2004, S. 135)
Defizitäres Vorgehen	Vergessen von Schritten oder Material, chronologische Mängel der Arbeits- bzw. Beobachtungsschritte	Baumann (2014, S. 126 f.)
Schlechte / fehlende Strukturierung	Planloses, unsystematisches, unstrukturiertes Agieren aufgrund fehlenden Strategiewissens oder hoher Komplexität der Domäne	Borgenheimer und Weber (2009), Emden und Sumfleth (2012, S. 72), Gößling (2010, S. 83, 106 f., 126), Meier (2016, S. 171, 239), Scherer und Tiemann (2011, S. 364), Sodian (2008, S. 458), Stark et al. (1995, S. 294), Strobl (2008 b, S. 88), Urhahne et al. (2000, S. 166), Ziemek et al. (2005, S. 36)
Planlose Hypothesengenerierung	Fortwährende Veränderung von Hypothesen; Formulierung von <i>ex post</i> -Hypothesen	Baur (2016, S. 198), Meier (2016, S. 215, 226)
Unzureichender Umgang mit Störgrößen	Ignoranz von unabhängigen Variablen (hinsichtlich deren Kontrolle)	Arnold, Kremer und Mayer (2013, S. 17), Urhahne und Harms (2006, S. 362)
Fehlende Berücksichtigung der Interaktion unabhängiger Variablen	Experimentelles Design meist stark vereinfachend, weil auf univariater Vorgehensweise beruhend (keine multivariaten Analysen)	Randler et al. (2015, S. 262 f.)
Ignorieren experimenteller Strategien	Nicht-Nutzen experimenteller Strategien (z. B. der Variablenkontrollstrategie) infolge fehlenden deklarativen Methoden- bzw. Domänenwissens, ungenügender wissenschaftsmethodischer bzw. selbstregulatorischer Kompetenzen oder reduzierter Motivation	Gößling (2010, S. 106 f., 183), Horstendahl et al. (2000), Thillmann (2007, S. 164, 166), Wirth, Thillmann, Marschner, Gößling und Künsting (2011)
Fehlende Quantifizierung	Oftmals ausschließlich qualitative Beobachtungen oder halbquantitative Vorgehensweise	Meier und Mayer (2013, S. 203), Randler et al. (2015, S. 262)
Mangelhafte Datenerhebung	Unsystematisches oder falsches Ablesen von Messwerten bzw. Verfälschung der Befunde durch unsachgemäßen Umgang	Baumann (2014, S. 126 ff.), Carey et al. (1989, S. 514), Schauble (1996, S. 114)
Unsystematische Beobachtung	Selektive Wahrnehmung und z. T. Ausblenden von Daten, die nicht erwartet wurden (s. a. a. O.) / <i>Confirmation bias</i>	Duit (2010, S. 613)
Fehlende Messwiederholung	Lediglich einmalige Datenerhebung	Arnold, Kremer und Mayer (2013, S. 17)

Kein Bewusstsein für Messzeitpunkt(e)	Keine Berücksichtigung von angemessenen Messzeiten und -dauern	Arnold, Kremer und Mayer (2013, S. 15 ff.)
Fehlerhafte Protokollierung	Unzulänglichkeiten beim Formulieren konditionaler, funktionaler oder kausaler Konstruktionen, Schwächen bei der Nutzung von Fachbegriffen und Wissenschaftssprache	Bayrak, Hoffmann und Ralle (2015, S. 178 ff.), Neber und Anton (2008 b)

Auswertung und Diskussion

Nicht bewiesene Kausalität	Schlussfolgerungen werden aus positivem Testen abgeleitet – also ohne Kontrollansatz	Hammann et al. (2006, S. 295 f.)
Fehlerhafter Vergleich	Zur Auswertung werden Ansätze verglichen, die sich in Bezug auf mehr als eine unabhängige Variable unterscheiden oder keinen logischen Zusammenhang aufweisen	Hammann et al. (2006, S. 294 f.)
Fehlende Logik bei der Interpretation	Aussagekräftig geplante und richtig umgesetzte Experimente werden nicht logisch interpretiert, z. B. aufgrund von Voreingenommenheit (s. a. a. O.)	Hammann et al. (2006, S. 296 f.), Schauble et al. (1991, S. 871, 875)
Fehlender Bezug von Evidenz und Hypothesen	Beobachtungen und Messdaten bei der Auswertung nicht auf Hypothesen bezogen	Kremer und Schlüter (2008, S. 46)
NOS-Verständnis zur Sicherheit und Unveränderlichkeit von naturwissenschaftlichem Wissen inadäquat	- Festhalten an nicht verifizierter Theorie (confirmation bias = Form einer „auf Voreingenommenheit beruhenden Bestätigungstendenz“; Mietzel, 2007, S. 292), Verwerfen „falscher“ Daten - Verständnis, dass Experimente lediglich bekanntes Wissen veranschaulichen, nicht jedoch widerlegen könnten	Abd-el-Khalick (2006, S. 401 f.), Duit (2010, S. 613), Dunbar (1993, S. 426), Kruse und Denz (2015, S. 290), Lunetta et al. (2007, S. 409), Schauble (1996, S. 111 f., 117), Schauble et al. (1991, S. 862), Zimmerman (2000, S. 119, 134)
Umgang mit Evidenz (v. a. mit anomalen, d. h. unerwarteten, kontraintuitiven Daten) unsachgerecht	<i>Confirmation bias</i> (Zurückweisen nicht erwarteter, der Hypothese widersprechender Daten bzw. Interpretation als Folge falscher Vorgehensweise bzw. Apparatur oder Beobachtungs- und Messfehler) oder Uminterpretieren der Daten z. B. aufgrund falscher epistemologischer Konzepte oder ungünstiger Bedingungen für Konzeptwechsel / -entwicklung	Chinn und Malhotra (2002a), Chinn und Malhotra (2002b, S. 189), Duit (2010, S. 613), Hammann et al. (2006, S. 292), Krüger (2007, S. 88 f.), Peter (2014, S. 127), Rumann (2004, S. 135), Schroedter und Körner (2015, S. 300 ff.), Schwichow et al. (2016, S. 221), Sodian (2008, S. 458 f.), Suhr (2010, S. 8), Urhahne und Harms (2006, S. 362 f.), Ziemek et al. (2005, S. 38)
Inadäquater Umgang mit der Ausgangshypothese	Schwierigkeit, eine ursprüngliche Hypothese zu revidieren oder zu verwerfen	Ganser und Hammann (2009 a), Kremer & Schlüter (2008, S. 45), Peter (2014, S. 124), Urhahne und Harms (2006, S. 362)
Fehlende Fehleranalyse	Fehlendes Bewusstsein oder geringe Disziplin, die Vorgehensweise (z. B. Handhabung von Geräten und Substanzen, Durchführung, Datenerhebung)	Meier (2016, S. 240)

Absicherung

Fehlende Replikation	- Fehlen replizierender Experimente zur ‚Absicherung‘ von Befunden bezüglich Generalisierbarkeit - Pseudoreplikationen statt echten Replizierens	Randler, Ekler, Tempel und Rehm (2015, S. 260 ff.)
----------------------	---	--

Verarbeitung der Erkenntnisse

Mangelhafte Elaborierung der Befunde	Ineffektive Verarbeitung und Integration der Erkenntnisse in Vorwissen	Borgenheimer und Weber (2009, S. 183), Wirth, Thillmann, Marschner, Gößling und Künsting (2011, S. 14 f.)
--------------------------------------	--	---

Anmerkungen. Manche Aspekte können verschiedenen Kategorien bzw. Phasen zugeordnet werden – so ergeben sich z. B. Fehler während der Durchführung u. U. als logische Konsequenz einer inkorrekten Planung oder infolge eines falschen konzeptuellen Verständnisses. NOS: *Nature of Science*[-Verständnis].

Die vorausgehenden Abschnitte thematisierten u. a. notwendige Voraussetzungen für erfolgreiches eigenständiges Experimentieren. Wenn entsprechende Bedingungen vorliegen, heißt dies allerdings noch nicht, dass Lernende erfolgreich experimentelle Problemlösefähigkeit anwenden (können). Im Folgenden werden weitere Rahmenbedingungen erläutert, die sich auf die Art und Weise der Nutzung der bereits genannten Voraussetzungen auswirken können.

4.7.4 Einstellungen und emotionale Dispositionen

Ein zentraler Einflussfaktor auf die Prozessregulation und Verarbeitungstiefe (vgl. Möller, 2008, S. 264) stellt die augenblickliche *Motivation* und *Freude* dar (vgl. Mietzel, 2007, S. 349 ff.), wie in Abschnitt 3.3.3 bereits angesprochen wurde (vgl. auch Hattie, 2013, S. 57 ff.). Die *Interessantheit des Themas* (vgl. Meyer-Ahrens et al., 2014) bzw. *Lernkontextes* (s. Abschnitt 4.9.6.3; vgl. Vogt, 2007, S. 11), das individuelle *Interesse* (vgl. Möller, 2008, S. 278 f.; Urhahne, 2008, S. 158) am bzw. die *positive Einstellung gegenüber dem Thema* (vgl. Upmeier zu Belzen, 2007, S. 21 ff.) oder die *Attraktivität der Lernaktivität* (vgl. Merzyn, 2008, S. 56; Vogt, Upmeier zu Belzen, Schröer & Hoek, 1999) können, vermittelt über die Verhaltensintention und die Volition (vgl. Schlüter, 2007, S. 58 ff.; Upmeier zu Belzen, 2007, S. 23; Urhahne, 2008, S. 159 f.; Weiglhofer, 2007, S. 55), Arbeits- und Behaltensprozesse ebenfalls begünstigen (vgl. Roth, 2009, S. 62, 68; Vogt, 2007, S. 9, 12).

Selbstbezogene Kognitionen wie bestimmte Komponenten des *Selbstkonzepts* (vgl. Hattie, 2013, S. 55 ff.; Mietzel, 2007, S. 360 f.; Möller, 2008, S. 266, 272 ff.; Urhahne, 2008, S. 156) sowie *Selbstwirksamkeitserwartungen* beeinflussen wie auch *Ergebniserwartungen* und deren subjektive *Bewertung* (vgl. Hattie, 2013, S. 38; Möller, 2008, S. 263, 267 f.,

277 f.; Urhahne, 2008, S. 153 ff.; Weiglhofer, 2007, S. 52) die Bereitschaft, sich Lernprozessen zu öffnen und diese engagiert mitzugestalten (vgl. Vogt, 2007, S. 16 f.).

Eine wichtige psychische Komponente ist die *Einstellung gegenüber Offenheit und Herausforderung* beim experimentellen Problemlösen: *Gewissheitsorientierte Lernende* (vgl. Perrez et al., 2006, S. 410 f.) fühlen sich eher unwohl, wenn die Lehrkraft keine detaillierten Anleitungen zum Experimentieren bereitstellt. Im Gegensatz dazu bewerten *ungewissheitsorientierte Lernende* beim Experimentieren nicht nur ein höheres Maß an Freiheit oder Offenheit, sondern auch kooperative Lernformen oftmals positiver (vgl. Walpuski & Sumfleth, 2007, S. 184). Sie sind bei der Problemlösung häufig erfolgreicher, da sie ihre Handlungsregulation entsprechend produktiver gestalten (vgl. Perrez et al., 2006, S. 411).

Die *Akzeptanz der konkreten Gestaltung von Lernumgebungen* im Experimentalunterricht ist darüber hinaus abhängig vom *Einstellungen-Typ* der Schülerinnen und Schüler zum (Experimental-)Unterricht (vgl. Upmeier zu Belzen, 2007, S. 25): da Lernende, die zum „*Lernfreude-Typ*“ gehören (Pleus & Upmeier zu Belzen, 2008, S. 276; Hervorhebungen durch den Verfasser), bereits ohne spezielle Anreize Lernmotivation als Voraussetzung ‚mitbringen‘, gilt es v. a., den Unterricht für diejenigen attraktiver zu gestalten, die dem „*Zielorientierten Leistungs-Typ*“, dem „*Gelangweilten-Typ*“ oder dem „*Frustrierten-Typ*“ zuzurechnen sind: Für Schüler des „*Zielorientierten Leistungs-Typs*“ sollte darauf geachtet werden, Experimente in authentischen, interessanten Alltagskontexten zu verorten (vgl. Merzyn, 2008, S. 38). Hier hängt es v. a. davon ab, wie sinnvoll ihnen das Lernen erscheint. Es gilt ergo, den Nutzen, die Anwendbarkeit der experimentellen Methode bzw. der dabei gewonnenen Erkenntnisse aufzuzeigen bzw. anschaulich erfahren zu lassen. Lernende des „*Gelangweilten-Typs*“ benötigen Neugieranreize (vgl. Löwe, 1990, S. 268 f.) durch spannende Phänomene und interessante experimentelle Erfahrungen (vgl. Anonymus, 2005; von Aufschnaiter & Riemeier, 2005a, S. 6; von Aufschnaiter & Riemeier, 2005b, S. 61; Merzyn, 2008, S. 38; Roth, 2008, S. 264; Russek, Kakoschke & Sommer, 2010, S. 95 f.) sowie eine adäquate Herausforderung, z. B. durch die Offenheit von Aufgabenstellungen, denn häufig unterfordert sie der Unterricht. Dem „*Frustrierten-Typ*“ kann man am ehesten gerecht werden, wenn man mehr auf die Passung der Ansprüche der Lernaufgaben (z. B. infolge von Komplexität des untersuchten Systems, Offenheit der Lernumgebung und Schwierigkeitsgrad der Aktivitäten an sich) und der Leistungsdisposition und Lernstile der Lernenden achtet, um Überforderung zu vermeiden (vgl. ebd.; Hattie, 2013, S. 52, 59, 231 ff.) und Kompetenzanreize zu schaffen (vgl. Löwe, 1990, S. 269). Beim letztgenannten Einstellungen-Typ sind v. a. Selbstwirksamkeitserfahrungen, also Kompetenzerleben (vgl. Deci & Ryan, 2000, S. 230 f.; Hattie, 2013, S. 52 ff.), sowie Angstreduktion durch gewisse Sicherheiten wichtig (vgl. Hattie, 2013, S. 59 f.).

Sind Schülerexperimente in Gruppenarbeitsphasen geplant, so beeinflussen *Einstellungen, Bereitschaft und Fähigkeiten hinsichtlich des kooperativen Arbeitens* die erfolgreiche Aktivität (s. Abschnitt 4.9.9.2). Hier spielt auch das Alter eine gewisse Rolle: soziale Kompetenzen der Kommunikation und gruppendynamischen Interaktion korrelieren damit aufgrund zunehmender Erfahrung und Reife (vgl. Meier & Mayer, 2012, S. 90).

In diesem Abschnitt wurde angesichts diverser Aspekte deutlich, dass das Kompetenzbündel *experimentelle Problemlösefähigkeit* ganz i. S. Weinerts (2002, vgl. Tab. 1-1) auch motivationale und volitionale Komponenten umfasst.

4.7.5 Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen

Dass die *Bedeutung des Geschlechts* für die Ausprägung wissenschaftsmethodischer Fähigkeiten i. A. vergleichsweise gering ist, konnten Nehring, Nowak, Upmeier zu Belzen und Tiemann (2015) zeigen, nachdem sie kognitive und motivationale Variablen statistisch kontrollierten. Dass Mädchen an biologischen Lerngegenständen statistisch gesehen interessierter sind, konnte bereits Löwe (1987) beobachten. Das fachbezogene Interesse bzw. speziell die domänenbezogene Motivation könnten sich zwischen den Geschlechtern unterscheiden und sich auf die fachliche Leistung auswirken (vgl. Baumert et al., 2001, S. 265). Dementsprechend würde es sich um Mediationseffekte der *bereichsspezifischen Motivation* handeln. Bei PISA 2000 zeigte sich ein großer Zusammenhang zwischen Interesse und Leistung (vgl. Baumert et al., 2001, S. 265). Die unterschiedliche Motivation könnte demnach zu einem Interaktionseffekt mit dem Treatment führen, der eine mögliche Ursache für die marginalen Geschlechterunterschiede darstellen, die z. B. Hof (2011, S. 110 f.) im Hinblick auf Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit fand (s. auch Abschnitt 7.11.2).

Im Gegensatz dazu stellt das statistisch geringer ausgeprägte *Selbstkonzept* der Mädchen eine nachteilige Einflussgröße für viele Schülerinnen dar (vgl. Benke, 2012, S. 221; Urhahne, 2008, S. 153). Dem damit verbundenen negativen Effekt auf die Performanz können Lehrkräfte u. U. durch entsprechende Bekräftigung (vgl. Belenky, Clinchy, Goldberger & Tarule, 1986 a, S. 193 ff.) und ggf. auch durch monoedukativen Unterricht mit offenen Experimenten entgegenwirken.

Welche Erkenntnisse zu *Geschlechterunterschieden* in der Performanz experimenteller Problemlösefähigkeit liegen konkret vor? Global betrachtet erwiesen sich die Geschlechterunterschiede im naturwissenschaftlichen Bereich in der PISA-Studie von 2000 und 2009 nicht als signifikant, obgleich die männlichen Probanden einen etwas höheren Mittelwert als die weiblichen aufwiesen (vgl. Baumert et al., 2001, S. 252 f.; Klieme, Artelt, Hartig, Jude,

Köller, Prenzel et al, 2010, S. 187 f.)⁴². Da ein Schwerpunkt bei PISA 2000 die Lebenswissenschaften darstellten, wurde der Vorsprung der Jungen, der traditionell in Chemie und Physik bestand (vgl. Baumert et al., 2001, S. 255), wohl zugunsten der Mädchen reduziert, (vgl. ebd., S. 256; s. auch Blumberg, Hardy & Möller, 2008, S. 60). Gleichzeitig zeigte sich in einer nationalen Testung mit anderen Itemschwerpunkten, dass Mädchen in Biologie zwar bessere, statistisch jedoch nicht signifikant unterschiedliche Leistungen erzielten (vgl. Baumert et al., 2001, S. 257). In allen OECD-Staaten lagen die Leistungen der Mädchen in der Teilkompetenz *Naturwissenschaftliche Fragestellungen erkennen* bei PISA 2006 signifikant höher als bei den Jungen (vgl. Hammann & Prenzel, 2008, S. 71 f.; Prenzel et al., 2007a, S. 90; Prenzel et al., 2008, S. 115) – selbst, wenn die Lesekompetenz statistisch kontrolliert wurde. Dies zeigt, dass das (Meta-)Wissen über die Natur der Naturwissenschaften bei 15-jährigen Mädchen stärker ausgeprägt ist als bei gleichaltrigen Jungen. Dies könnte entweder aus einer besseren Förderung oder aus entwicklungsbedingten Ursachen (bzw. aus deren Interaktion) resultieren. Hingegen überstieg das mittlere Leistungsvermögen der Jungen im Bereich *Naturwissenschaftliche Phänomene erklären* jenes der Mädchen (vgl. ebd., S. 68). Dieser Kompetenzbereich setzt v. a. naturwissenschaftliches Sachwissen voraus, entsprechendes Verständnis und dessen flexible Anwendung.

Klos (2008, S. 72 ff.) beobachtete allerdings hinsichtlich der Performanz in grundlegenden naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen Unterschiede: Mädchen wiesen in der Studie nicht nur insgesamt eine höhere Kompetenzausprägung auf. Sie konnten darüber hinaus in Unterricht, der stärker auf prozessbezogene Fähigkeiten und Fertigkeiten ausgerichtet war, wissenschaftliches Denken besser als Jungen weiterentwickeln. Bei der Interpretation dieses Befunds ist allerdings zu bedenken, dass Mädchen bei schriftlichen Testaufgaben aufgrund statistisch höher ausgeprägter sprachlicher Fähigkeiten (u. a. bezüglich des Leseverständnisses infolge von mehr Leseerfahrung; vgl. Benke, 2012, S. 222; Walther, 2012, S. 360) besser abschneiden könnten (vgl. Blumberg et al., 2008, S. 60; Germann et al., 1996, S. 200; Schrader et al., 2008, S. 13). Allerdings kommen auch Erklärungsalternativen in Betracht: Im Speziellen kann bei Mädchen in geschlechtshomogenen Teams im Rahmen von Gruppenarbeit beobachtet werden, dass sie sich bei der *Kooperation erfolgreicher* einbringen (vgl. Goldstein & Puntambekar, 2004), was sich beim offenen Experimentieren günstig auf Prozess und Gruppenergebnis auswirken kann: Verglichen mit Jungen setzen Mädchen ihre Fähigkeiten zur kooperativen Handlungsregulation und zielführenden strategischen Planung durchschnittlich intensiver ein und besitzen dazu auch eine positivere Einstellung als Jungen (vgl. ebd., S. 506, 510, 517, 519; Satow & Schwarzer, 2003).

⁴² Dieser Sachverhalt wurde bei PISA 2006 bestätigt (vgl. Prenzel et al., 2007a, S. 87).

4.7.6 Sprachliche Kompetenzen

Die *Lesefähigkeit* und das *Wortverständnis* von Lernenden spielen wie bereits in den Abschnitten 4.6 und 4.7.5 ausgeführt eine entscheidende Rolle für den korrekten und auch motivierten Umgang mit Arbeitsaufträgen bzw. das richtige Bearbeiten v. a. von schriftlichen Testitems (vgl. Jankisz & Moosbrugger, 2007, S. 64; Nehring, Nowak, Upmeyer zu Belzen & Tiemann, 2015; Stawitz, 2010, S. 152, 154).

4.8 Lehrermerkmale

„Aktuell hört man das Mantra, dass es [hinsichtlich des Lerneffekts von Unterricht] ganz auf die Lehrperson ankomme. [...]

Nicht alle Lehrpersonen sind effektiv, nicht alle Lehrpersonen sind Experten und nicht alle Lehrpersonen haben starke Effekte auf Lernende [...]

(Hattie, 2013, S. 42)

Es erscheint plausibel, wenn Hatties (2013, S. 27 f.) Metaanalyse zufolge Unterschiede in der Wirkung schulischen Lernens größtenteils auf *Eigenschaften von Lehrkräften* und auf Merkmale ihrer *unterrichtsbezogenen Entscheidungen und Handlungen* zurückzuführen sind (vgl. auch Gropengießer, 2013 a, S. 212; Großschedl, Harms & Mahler, 2016, S. 17; Neuhaus, 2007, S. 245). Wie Abbildung 4-1 in Abschnitt 4.1 zeigt, hängen damit ergo nicht nur zahlreiche unmittelbar mit *Lehrereigenschaften* verbundene Faktoren, sondern indirekt auch Einflussgrößen auf den Ebenen der *Unterrichtsprozesse* und der *Lehr-/Lernmaterialien* und *Medien* zusammen, die sich auf Lernprozesse auswirken.

Im gesamten vorliegenden Kapitel wird deutlich, wie komplex die Planung und Durchführung von Naturwissenschaftsunterricht zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit sind und welche Ansprüche daraus an die Professionalität von Lehrkräften resultieren: „[...] Lehrende [nehmen] eine Schlüsselrolle im Prozess der Implementierung von forschungsorientiertem Unterricht in den Naturwissenschaften ein. Diese Art [effektiv, d. h. in einem wünschenswerten Maß kompetenzförderlich] zu lehren stellt die Lehrpersonen [...] vor einzigartige und komplexe Herausforderungen [...]“ (Sotiriou et al., 2012, S. 17). Das o. g. Zitat von Hattie (2013, S. 42) und das moderate bis schlechte Abschneiden vieler Lernender bezüglich wissenschaftsmethodischer Kompetenzen (vgl. Abschnitt 1.3) macht deutlich, dass hierzulande nur ein Teil der Lehrkräfte die Lernenden adäquat zu unterstützen vermag (vorausgesetzt, dass gleichaltrige Jugendliche in anderen Teilnahmestaaten der internationalen Schulleistungsstudien nicht prinzipiell intelligenter oder begabter sind). Angesichts der großen Relevanz

experimenteller Problemlösefähigkeit in der heutigen Zeit und Gesellschaft (vgl. Abschnitte 1.1 und 1.2) ist zu klären, welche Lehrermerkmale auf welche Weise *ausgebildet* sein sollten. Dies ist durchaus auch im wörtlichen Sinn zu verstehen: Auf welche Kompetenzen und Persönlichkeitsmerkmale ist bei der Auswahl und *Ausbildung* von Lehrpersonen besonders Wert zu legen, wie müssen Qualifizierungsmaßnahmen in der ersten (Studium), zweiten (Referendariat bzw. Vorbereitungsdienst) und dritten Phase (Fortbildungen, Weiterbildung) optimiert werden?

In den folgenden Abschnitten werden verschiedene Einflussgrößen beleuchtet, die von der Lehrkraft ausgehen bzw. mit ihr unmittelbar verbunden sind (vgl. auch Baumert & Kunter, 2011). Es macht Sinn, diese zahlreichen Faktoren in einem angemessenen Kategoriensystem zu verorten, welches zunächst vorgestellt wird.

4.8.1 Professionelle Handlungskompetenz als Ziel der Lehrerausbildung

Der Beruf von Lehrkräften erweist sich als äußerst vielseitig und anspruchsvoll. Die diversen Einsatzbereiche und damit verbundenen *Herausforderungen*, auf welche die *Lehrerbildung* auch systematisch vorbereiten soll (vgl. Ruppell & Looß, 2015, S. 156, 168; Wiskamp, 2008, S. 8 ff.), lassen sich fünf *Kompetenzbereichen* zuordnen (vgl. KMK, 2014, S. 3, 7 ff.): Unterrichten, Erziehen, Beurteilen, Innovieren und Schule Weiterentwickeln. Gropengießer (2013 a, S. 212) ergänzt noch das Beraten. Tabelle 4-2 (nach Heyduck, Schwanewedel & Großschedl, 2016, S. 374; ergänzt) veranschaulicht die Rollen, die Lehrpersonen in einigen dieser beruflichen Handlungsfelder zukommen.

Tab. 4-2. Handlungsfelder und Rollen der professionellen Expertise von Lehrkräften

Handlungsfeld / Rolle	Anforderungen
„Entwickler“	(Mit-)Entwicklung von Unterrichtskonzepten, Lehr-Lernumgebungen und Schulprofilen
„Vermittler“	Vermittlung prozess- und inhaltsbezogener Kompetenzen
„Coach“	Begleitung von Lernprozessen in moderat konstruktivistischen Lernumgebungen
„Forscher“	Evaluation des eigenen Unterrichts, Beurteilung der Befunde fachdidaktischer und bildungswissenschaftlicher Lehr-Lern- und speziell Unterrichtsforschung

Lehrerprofessionalität, also professionsbezogene Handlungskompetenzen von Lehrkräften (vgl. Hilfert-Ruppell & Looß, 2015, S. 157; Rehm & Bölsterli, 2014, S. 214), wird meist in ver-

schiedene Bereiche untergliedert: *Professionswissen* auf der einen Seite steht „*affektiv-motivationale[n] Komponenten*“ (Blömeke, Kaiser & Lehmann, 2011, S. 9 f.), „*volitionale[n] sowie wertbezogene[n] und selbstregulative[n] Komponenten*“ (Hilfert-Rüppell & Looß, 2015, S. 157; Hervorhebung durch den Verfasser) auf der anderen Seite gegenüber.

Innerhalb des Professionswissens werden in Anlehnung an Shulman (1986) die Dimensionen *Allgemein-Pädagogisch[-psychologisch]es Wissen* (Pedagogical Knowledge, PK), *Fachwissen* (Content Knowledge, CK) und *Fachdidaktisches Wissen* (Pedagogical Content Knowledge, PCK) unterschieden (vgl. von Aufschnaiter & Blömeke, 2010, S. 362 f.; Jüttner & Neuhaus, 2010, S. 28 f.; Labudde & Möller, 2012, S. 20; Rieß, 2012, S. 162; Wüsten et al., 2010, S. 132). Manche Autoren ergänzen dies noch um *Organisations-* sowie *Beratungswissen* (vgl. Rüppell & Looß, 2015, S. 157). Im Folgenden werden zentrale Komponenten der professionellen Handlungskompetenzen herausgegriffen und ausführlicher dargestellt.

4.8.2 Professionswissen

4.8.2.1 Fachwissen und fachmethodische Kompetenzen

„[...] *teachers cannot possibly teach what they do not understand.*“

(Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, S. 670)

Fachkenntnisse aus der Bezugswissenschaft (z. B. Biologie) und angrenzenden Disziplinen stellen ein unverzichtbares Fundament der Lehrerprofessionalität dar (vgl. Gropengießer, 2013, a, S. 215). Diese ermöglichen u. a., geeignete Domänen und authentische alltagsnahe Kontexte sowie interessante Beispiele für den Unterricht auszuwählen, diese angemessen didaktisch zu reduzieren und im Rahmen *didaktischer Rekonstruktion* auf die Perspektiven der Lernenden zu beziehen (vgl. Gropengießer & Kattmann, 2013, S. 17 ff.).

In der Lehrerbildung kommt es darüber hinaus auf den Aufbau eines adäquaten *NOS-Verständnisses* (vgl. Gropengießer, 2013 a, S. 217; Hempel, 2008, S. 170; Rieck & Stadler, 2008, S. 224 f.) an (vgl. Schulze Heuling, Mikelskis-Seifert & Nückles, 2015, S. 42): Das *eigene Wissenschaftsverständnis* von Lehrkräften wirkt sich unmittelbar auf die Unterrichtsgestaltung im Bereich der Wissenschaftspropädeutik (vgl. Höttecke, 2008, S. 7; Langlet, 2013, S. 97; Lunetta et al., 2007, S. 404) und letztlich die Vorstellungen der Lernenden aus (vgl. Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, S. 670 f., 694 f.; Sodian et al., 2002, S. 195 f.): So etwa darauf, welche Vorstellung vom Zweck des Experiments hauptsächlich gefördert wird – ob Experimentieren der Hypothesenprüfung oder lediglich der Veranschaulichung oder der Bestätigung von

Wissen diene (vgl. Tesch & Duit, 2004). Nicht selten sind große Unsicherheiten, Lücken und Fehlvorstellungen auf Seiten der Lehrpersonen festzustellen (vgl. Höttecke, 2004 a, S. 272; Krämer, Nessler & Schlüter, 2012; Langlet, 2001, S. 9; Lunetta et al., 2007, S. 408 f.; Sodian et al., 2002, S. 194). Nehring et al. (2016, S. 92) bringen ein unpräzises Experiment-Konzept auf Seiten der Lehrkräfte mit einer undifferenzierten, „weitläufige[n] Nutzung des Experimentbegriffs“ (vgl. Abschnitte 2 und 4.11.3) und einer Unterrichtsgestaltung in Verbindung, bei der „Besonderheiten verschiedener Erkenntnismethoden wenig“ herausgearbeitet werden (vgl. auch Höttecke & Rieß, 2015, S. 129 f.).

Kambach und Upmeier zu Belzen (2016, S. 244) zufolge haben viele Lehramtsstudierende Schwierigkeiten, zielgerichtet eigene aussagekräftige Experimente zu planen sowie selbstständig durchzuführen und auszuwerten⁴³. Somit sollten *wissenschaftsmethodische Kompetenzen* der Bezugsdisziplinen im Studium aufgebaut werden – z. B. im Rahmen von Experimentalpraktika. Die eigene Qualifikation bezüglich Konzepten, Heuristiken und strategischen Herangehensweisen beim experimentellen Problemlösen (z. B. während des Studiums oder durch Lehrerfortbildungen; vgl. Emden & Baur, 2016, S. 8, 11) ist ein wichtiger Prädiktor für die Lernwirkung auf Seiten der Schüler bezüglich *experimenteller Problemlösefähigkeit* (vgl. Hattie, 2013, S. 248 f.). Das „Vormachen“ und laute „Vordenken“ experimenteller Erkenntnisgewinnung im Unterricht gemäß der Schrittfolge des *Cognitive Apprenticeship*-Ansatzes (s. Abschnitt 4.9.8.3; vgl. Flick, 2000, S. 111) kann die Lernenden im Rahmen konkreter Situationen und authentischer Probleme in einem Lernkontext (vgl. Mandl & Kopp, 2005, S. 20 f.) effektiv in die Kultur dieser Methode einführen (vgl. Höttecke, 2010, S. 10; Kirschner et al., 2006, S. 81; Reinmann & Mandl, 2006, S. 631 ff.; Schanze, 2009, S. 20). Die eigene Expertise beim Experimentieren und ein gutes Selbstkonzept begünstigen überdies Überzeugungen (vgl. Abschnitt 3.3.3) und Handlungsabsichten, die für die erfolgreiche Gestaltung eigenen Experimentalunterrichts von Vorteil sind (vgl. Thyssen et al., 2016, S. 222).

4.8.2.2 Fachdidaktisches Wissen

„Die Zielstellung,

Schülerinnen und Schüler zum weitgehend selbstständigen Experimentieren zu befähigen, stellt hohe Anforderungen an die methodisch-didaktische Gestaltung des naturwissenschaftlichen Unterrichts.“

(LISA, 2003, S. 14)

⁴³ Möller, Bergsdorf, Boone und Kaufmann (2013) berichten davon, dass mehr als ein Achtel der Studierenden angibt, in der eigenen Schulzeit im Biologieunterricht nie experimentiert zu haben. Insofern überraschen diese Mängel zu Beginn des Lehramtsstudiums nicht sonderlich.

Fachdidaktisches Wissen und Können der Lehrkraft sind eine grundlegende Voraussetzung für die Gestaltung passender Lernumgebungen (vgl. Mayer & Ziemek, 2006, S. 9 f.; Messner, 2009 a, S. 27), die effektive Förderung ermöglichen (vgl. Großschedl, Harms & Mahler, 2016, S. 19 f.; Rehm & Bölsterli, 2014, S. 214). Die Qualität und Quantität schülerorientierten kompetenzförderlichen Experimentalunterrichts hängen dabei von der Art und dem Umfang von experimentellen Praktika und v. a. von fachdidaktisch ausgerichteten, auf die konkrete Schulpraxis bezogenen und didaktisch-methodische Reflexion betonenden Lehrveranstaltungen während des Lehramtsstudiums ab (vgl. Klautke, 1990, S. 76 ff.; Thyssen et al., 2016, S. 217). Allerdings: Beherrschen Lehrkräfte in einer Naturwissenschaft bzw. einer Teildisziplin didaktisch-methodische Kniffe zur Gestaltung kompetenzförderlichen Experimentalunterrichts, so muss dies noch lang nicht auch für andere Domänen zutreffen (vgl. Rieß, 2012, S. 158).

Bei vielen Lehrkräften werden zahlreiche *Unsicherheiten* beobachtet, didaktisch-methodisch *hochwertigen und kompetenzförderlichen Experimentalunterricht zu implementieren* (vgl. Krämer et al., 2015, S. 128 ff.). Die Probleme betreffen verschiedene Ebenen, die Krämer et al. (2015, S. 127) bei Lehramtsstudierenden kurz vor Ende des Studiums anhand von Videografien durchgeführten Unterrichts ermittelten: wenig Anregung der Lernenden, Fragen zu stellen (vgl. auch Chin & Osborne, 2008, S. 1, 29; Neber & Anton, 2008 a, S. 1803; Ramseger, 2009, S. 15); keine Unterstützung, analysierbare Fragestellungen zu generieren sowie bei der Reflexion über offene oder sich ergebende Fragen; kaum Feedback zu Ideen; keine Hilfestellungen bei der Fehleranalyse und keine Impulse zur intensiveren Reflexion von Design und Befunden.

Im Folgenden werden einige *Ausbildungsdiesiderate* und die zugrundeliegenden Hintergründe näher beleuchtet: Neben allgemein-didaktischen Fähigkeiten, die für Lehr-Lernprozesse in allen Fächern relevant sind (vgl. Gropengießer, 2013 a, S. 212) sind für Naturwissenschaftslehrkräfte auch spezifische *fachdidaktische Kompetenzen* nötig. Komponenten des *Fachdidaktischen Wissens* kann man den beiden Bereichen „*Fachdidaktisches Wissen allgemein*“ (z. B. Wissen über Inhalte und deren didaktisches Potenzial, curriculare Rahmenbedingungen des Unterrichtsfachs⁴⁴; Präkonzepte und Fehlstrategien von Lernenden⁴⁵; Potenzial und Grenzen der Kontextorientierung) und „*Fachmethodik*“ (z. B. Wissen über Unterrichtsstrategien, Einsatz von Denk- und Arbeitsweisen sowie anderen Lernaktivitäten und von Medien, Beurteilungs- und Assessmentmethoden) zuordnen (direkte Zitate beziehen sich auf Rüppell & Looß, 2015, S. 161 – Hervorhebung durch den Verfasser; vgl. auch Alfs & Hößle, 2012,

⁴⁴ Großschedl et al. (2016, S. 17) sprechen diesbezüglich von der Dimension „*curricular knowledge*“ (CuK).

⁴⁵ s. Bögeholz et al. (2016, S. 42).

S. 119 f.; Jüttner & Neuhaus, 2010, S. 29 f.; KMK, 2015, S. 20; Labudde & Möller, 2012, S. 20; Schrader et al., 2008, S. 17; Sjuts, 2008, S. 58).

4.8.2.3 Pädagogisch-psychologisches Wissen

Wie u. a. in den Abschnitten 4.7.1.1 und 4.7.3 dargestellt, benötigen Naturwissenschaftslehrkräfte auch *lernpsychologische Kenntnisse* (vgl. Krapp & Weidenmann, 2006; Mietzel, 2007; Renkl, 2008) sowie *entwicklungspsychologisches Wissen* um die Ausprägung des aktuellen *kognitiven Leistungsvermögens* (vgl. Flint, 2014, S. 59; Koerber, 2006, S. 192, 198) sowie um allgemein positive Lernvoraussetzungen (vgl. Lunetta et al., 2007, S. 405; Muckenfuß, 2010? / o. J., Internetdokument: S. 6) der Lernenden.

Pedagogical knowledge (vgl. Lunetta, 1998, S. 259) umfasst darüber hinaus v. a. allgemeindidaktische und pädagogische Fähigkeiten im Zusammenhang mit *Prinzipien effektiven Unterrichts* (vgl. Helmke, 2009; Meyer, 2007; Neuhaus, 2007) wie Klarheit und Strukturiertheit der Unterrichtsgestaltung (vgl. Hattie, 2013, S. 150 f., 193). Hinzu kommen Kompetenzen eines guten *Classroom-Managements* (vgl. Flick, 2000, S. 116) oder zur erfolgreichen Gestaltung komplexer Gruppenarbeitsstrukturen (vgl. Cohen, 1994, S. 28 f.) – etwa ein professioneller Umgang mit Unterrichtsstörungen, der sich positiv auf die Lernleistungen auswirkt (vgl. Baumert & Köller, 2000, S. 272; Hattie, 2013, S. 124 ff.). Auch die Fähigkeiten, schülerorientiert Gespräche zu führen, Lern- und Arbeitsprozesse zu moderieren, offene kognitiv aktivierende Impulse zu Reflexion (vgl. Germann et al., 1996, S. 200 f.), Argumentation und Wissensaktivierung (vgl. auch Carey et al., 1989, S. 518; Osborne, Erduran & Simon, 2004, S. R1; Zehren et al., 2013, S. 421) sowie Feedback (vgl. Hattie, 2013, S. 193) zum richtigen Zeitpunkt zu geben, zeichnet kompetenzförderlichen Unterricht guter Lehrkräfte aus (vgl. Suwelack, 2011, S. 65 ff.). Außerdem ist es eine wichtige Kunst, sich in Gruppenarbeitsphasen soweit wie möglich zurückzunehmen und nur dosiert auf Rückfragen hin Hilfe zur Selbsthilfe bzw. sinnvolle Reflexionsimpulse in die Teams zu geben (vgl. Haag & Hopperditzel, 2000, S. 486). Verschiedene Zielsetzungen – etwa die Planung, Durchführung und Auswertung auf der einen und die Diskussion und der Austausch über deren Befunde und die Implikationen auf der anderen Seite – erfordern von den Lehrkräften die Kompetenz, eine jeweils besonders angemessene Sozialform sowie zielführende, kompetenzförderliche Lernaktivitäten auszuwählen (vgl. McGinn & Roth, 1999, S. 19 f.).

Professionell agierenden Lehrpersonen sind Möglichkeiten der *Binnendifferenzierung*⁴⁶

⁴⁶ Auch innerhalb derselben Schulart ist zwischen den Lernenden meist große Heterogenität hinsichtlich der Performanz zu beobachten (vgl. Pant et al., 2013).

(vgl. von Aufschnaiter & Blömeke, 2010, S. 363; Höttecke, 2010, S. 5; Meier & Wellnitz, 2013, S. 8 f.; Roth, 2009, S. 65; Stäudel, 2014, S. 42, 164 ff.) beim individualisierten Lernen mit Experimentalaufträgen (vgl. von Aufschnaiter & Riemeier, 2005, S. 7; Riemeier, 2005) geläufig – z. B. im Hinblick auf die unterschiedlich weite Öffnung von Experimentieraufgaben (vgl. Jang & McComas, 2015, S. 559; Priemer, 2011, S. 333) im Rahmen von Gruppenarbeit (s. z. B. Sotiriou et al., 2012, S. 37 ff.; vgl. Trautmann & Wischer, 2007, S. 45 f.). Entsprechend gelingt es ihnen, individuell angemessen zu fordern und zu fördern sowie je nach Befähigung „zu selbstständigem und kognitiv anspruchsvollem Arbeiten“ anzuregen (Trendel, Wackermann & Fischer, 2008, S. 335; vgl. auch Meyer, 2006, S. 27 f.). Dies kann sich z. B. in der Schwerpunktsetzung des Lernmoduls und der Autonomie der Lernenden bei Schülerexperimenten äußern (vgl. Messner, 2009 a, S. 27; Pfeifer, Schaffer & Sommer, 2011, S. 2 ff.). Dabei ist eine adäquate Passung der Aufgabenschwierigkeit mit der individuellen Kompetenzausprägung bedeutsam (vgl. Aebli, 1998, S. 303; Weißbrodt, 2006, S. 282 f.), um Kompetenzerleben zu ermöglichen, das die Lernmotivation und positive Einstellungen zum Fach steigert (vgl. von Aufschnaiter & Riemeier, 2005, S. 7; Blumberg, Hardy, Möller, 2008, S. 62; Deci & Ryan, 2000; Hannover, 1992, S. 38, 43). Die Aufgaben dürfen also weder unter- noch überfordern (vgl. Mandl & Kopp, 2005, S. 23; Urhahne, 2008, S. 158). Schwierigkeit generierende Aufgabenmerkmale können neben der Domäne bzw. dem Kontext auch die Menge der unabhängigen Variablen des betrachteten Experiments und deren Abstufungen bzw. Ausprägungsgrade sein (vgl. Schwichow et al., 2015, S. 348). Auch die flexible Bereitstellung bzw. individuell adaptierte Nutzung von instruktionaler Unterstützung kennzeichnen den bewussten Umgang mit unterschiedlicher Leistungsstärke und sonstigen Aspekten der Heterogenität innerhalb von Lerngruppen (vgl. Girwitz, 2009 b, S. 444). Sie kann z. B. im Zusammenhang mit Karten mit gestuften Hilfen (vgl. Abschnitte 4.9.8.1 und 4.9.8.2) oder einer entsprechenden programmierten iPhone-App umgesetzt werden (vgl. u. a. Ostwinkel, Raufeisen & Ortlieb, 2015, S. 351).

Des Weiteren gelingt es guten Lehrkräften, den Unterrichtsprozess sinnvoll in Phasen zu strukturieren (vgl. Schmidkunz, 2005, S. 20), geeignete Medien auszuwählen und ggf. adaptiv zu modifizieren, Unterrichtsziele und Ressourcen aufeinander abzustimmen sowie organisatorisch-logistische und sicherheitsrechtliche Aspekte zu klären (vgl. Mayer, 2002, S. 7 ff.; Mayer & Ziemek, 2006, S. 9 f.).

4.8.3 Motivationale, volitionale und soziale Merkmale

Die positive Einstellung von Lehrkräften gegenüber dem eigenen Fach bzw. Unterricht beeinflusst entscheidend auch die Einstellung der Lernenden gegenüber dem Fachunterricht

(vgl. Russek, Kakoschke & Sommer, 2010, S. 95), somit auch dessen potenziellen Lerneffekte. Die Fähigkeit, die Lernenden allgemein zu begeistern und für experimentelles Arbeiten und Denken zu motivieren (vgl. Flick, 2000, S. 115; Krämer et al., 2015, S. 129), ist insofern eine wichtige Moderatorvariable für das grundlegende kompetenzförderliche Potential einer Lernumgebung. Umgekehrt sind bei Lerngruppen emotional ausgebrannter Lehrkräfte oftmals geringere Lerneffekte zu beobachten, was Klusmann und Lüdtke (2016) im Fach Mathematik fanden.

4.8.4 Überzeugungen und Werthaltungen

Viele Vertreter der zeitgenössischen Lehr-Lernforschung nehmen eine „praxisorientierte Position zum Lehren und Lernen“ (Reinmann & Mandl, 2006, S. 636) ein und favorisieren den moderaten, d. h. gemäßigten Konstruktivismus als didaktischen Rahmen (vgl. ebd., S. 637 ff.). Lernen wird dabei als individueller, aktiver, selbstregulierter, emotionaler, situierter Konstruktionsprozess in einem sozialen Kontext – z. B. in Form kooperativen Lernens – betrachtet (vgl. ebd.; Marsch & Krüger, 2008, S. 256). Eine Kernaussage dieser Position ist, dass die individuelle Konstruktion von Wissen instruktorischer Unterstützung bedarf (vgl. Reinmann & Mandl, 2006, S. 637 ff.).

Lehrpersonen haben allerdings sehr unterschiedliche Auffassungen, wie Lernen am besten funktioniert: so favorisieren manche unter ihnen stark lehrergesteuerten und lerngegenstandsorientierten Unterricht (vgl. ebd., S. 618; Marsch & Krüger, 2008, S. 264 ff.), in dem Lernende eine eher rezeptive, lediglich Anweisungen ausführende Rolle einnehmen. Andere Lehrkräfte hingegen setzen auf ein hohes Maß an offenem, entdecken lassendem Lernen (vgl. ebd., S. 625 ff.). Dabei kommt der Lehrkraft eine eher passive Rolle des höchstens reagierenden Lernbegleiters zu (vgl. Höttecke, 2010, S. 5, 7; Lunetta, 1998, S. 254; Martius et al., 2016, S. 223 f.; Sotiriou et al., 2012, S. 25, 30). Jannack et al. (2015, S. 365) umschreiben dieses gewandelte Bild sehr anschaulich: Die Lehrkraft ist nun „Lerngerüst, Tutor, adaptiver Coach, einfühlsamer ko-konstruktiver Dialogpartner – kurz: [...] abrufbare fachliche und personale Lernressource“. Sie hilft den Lernenden durch geeignete Impulse, deren Gedanken und Überlegungen mit jenen der Wissenschaftsgemeinschaft in Beziehung zu setzen und zu vergleichen (vgl. Lunetta et al., 2007, S. 427), um zu tieferen Einsichten über Konzepte zu gelangen (vgl. Lunetta, 1998, S. 259). Wieneke (2011, S.29) erweitert dieses Aufgabenspektrum: Die Lehrkraft „muss Sicherheit geben, Lernräume und Lernumgebungen gestalten, Explorationen ermöglichen, die Entwicklung eigener Fragen fördern, Gespräche moderieren, Vertrauen entwickeln, Unterstützung beim Strukturieren der Lernprozesse anbieten und zum Dokumentieren der Lernwege anregen“ (vgl. auch Windt et al., 2014, S. 72).

Es zeigte sich wiederholt, dass eine moderat konstruktivistische Sichtweise auf Lehr-Lernprozesse den Anforderungen für eine optimale unterrichtliche Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit am besten gerecht werden kann (vgl. Lunetta et al., 2007, S. 405; Widodo & Duit, 2004): Lernende setzen sich in entsprechend gestalteten Lernumgebungen aktiv und intensiv mit experimentellen Kompetenzen auseinander, werden dabei jedoch von der Lehrperson gezielt unterstützt, wo es erforderlich ist. Flick (2000) greift das Bild des *cognitive scaffolding* auf (s. auch Abschnitt 4.9.8.3): Lehrkräfte müssen den Lernenden durch wohl dosierte sowie den individuellen Bedürfnissen und dem Leistungsvermögen angepasste (vgl. Widodo & Duit, 2004, S. 244) instruktionale Lernbegleitung ermöglichen, größtenteils eigenständig experimentell Probleme zu lösen: „[...] [The teachers] use questions, prompts, task selection, and structured classroom interactions as cognitive supports for recall of appropriate knowledge and skills in a timely fashion to maintain the continuity of investigative work. Teacher scaffolding highlight critical associations and opportunities for reflection that help students make meaningful use of investigative processes and results“ (Flick, 2000, S. 109). Dies bedeutet, dass gute Lehrkräfte zuerst einmal „durch die explizite Thematisierung von [experimentellen] Lösungsstrategien [Lernende] in die Lage“ versetzen, „die Anforderungen auch zu erfüllen“ (Trendel et al., 2008, S. 335; vgl. ebd., S. 338).

Eine positive Einstellung gegenüber dem moderaten Konstruktivismus bewegt Lehrkräfte in Verbindung mit entsprechenden Kompetenzen der Unterrichtsgestaltung auch dazu, Lernumgebungen anspruchsvoller zu gestalten, den Lernenden Problemlösestrategien nahezubringen (vgl. Hattie, 2013, S. 248) und abzuverlangen. Somit geben sie den Lernenden Raum, diese Kompetenzen eigenständig anzuwenden (vgl. Greinstetter, 2008, S. 326; Grygier & Hartinger, 2009, S. 11; Möller et al., 2002, S. 179; Schrader et al., 2008, S. 21). Überdies kann eine entsprechende Perspektive begünstigen, dass Lehrkräfte die Präkonzepte der Lernenden nicht nur mehr oder weniger oberflächlich thematisieren, sondern diese elaborieren, in Frage stellen und überprüfen sowie revidieren lassen (vgl. Widodo & Duit, 2004, S. 243, Widodo & Duit, 2005, S. 135 ff.). Dabei stehen *didaktische Rekonstruktion* und *Conceptual Change*-Prozesse im Mittelpunkt der didaktisch-methodischen Bestrebungen der Lehrkraft (vgl. Labudde & Möller, 2012, S. 18).

Während des Lehramtsstudiums aufgebaute bzw. verbesserte *Einstellungen, Überzeugungen und Verhaltensintentionen* haben Thyssen et al. (2016, S. 209 ff.) zufolge einen beachtlichen Einfluss darauf, in welchem Maß Lehrkräfte kompetenzförderlichen Experimentalunterricht umsetzen (vgl. auch Gräsel & Parchmann, 2004 a, S. 175). Laut Sotiriou et al. (2012, S. 13) spielen etwa *Beliefs* eine Rolle, was zuallererst Aufgabe der Naturwissenschaftslehrkraft sei. Dies kann etwa die Perspektive betreffen, ob man die Vermittlung naturwissenschaftlichen Faktenwissens als Priorität ansieht, oder sich auch dafür verantwortlich fühlt, dass Lernende

zusätzlich erfahren, *wie* ‚man‘ (d. h. auch selbstständig) zu naturwissenschaftlichen Erkenntnissen gelangen kann.

Höttecke (2010 b, S. 10) zufolge spielt auch das *Zutrauen in die Fähigkeiten* (z. B. in deren experimentelle Problemlösefähigkeit) bzw. *Bereitschaften der Lernenden* eine wichtige Rolle bei der Gestaltung schülerorientierter Lernumgebungen (vgl. auch Belenky et al., 1986 a, S. 208): Es wirkt sich in Form von „Lehrererwartungs-Effekten“ (Dubs, 2009, S. 447) auf die Gestaltung des Unterrichts, z. B. hinsichtlich der Problemorientierung und der ermöglichten Autonomie und Offenheit der Aufgabenstellungen, aus und begünstigt im Idealfall die Motivation, die Intensität der Lernaktivitäten und das Selbstkonzept der Lernenden (vgl. Dubs, 2009, S. 447, 449 ff., 458; Hattie, 2013, S. 138, 145 f.; Helmke, 2009, S. 148).

4.8.5 Konsequenzen für die Lehrerbildung

Klautke (1990, S. 76 ff.) zeigte vor fast drei Jahrzehnten auf, dass in vielen damaligen Lehramtsstudiengängen zu wenig Wert darauf gelegt wurde, „fachdidaktisch orientierte Experimentalkurse“ anzubieten, v. a. an den eher fachwissenschaftlich ausgerichteten Universitäten. Doch gerade von der Qualität und Quantität der schulpraxisbezogenen Lehrveranstaltungen zum schulischen Experimentieren hänge es ab, „ob im späteren Beruf als Lehrer der Experimentalunterricht bevorzugt wird“ (Klautke, 1990, S. 78). Dies führt vor Augen, in welchem Maß die Qualität der *Lehrerausbildung* die Kompetenzorientierung des Naturwissenschaftsunterrichts beeinflusst (vgl. auch Moisl, 1988, S. 4). Insofern ist dafür Sorge zu tragen, dass sowohl künftige als auch bereits praktizierende Lehrkräfte in allen Ausbildungsphasen (vgl. Gropengießer, 2013 a, S. 215 ff.) auf die anspruchsvollen Aufgaben bezüglich kompetenzförderlichen Unterrichtens vorbereitet bzw. weiterqualifiziert und immer wieder auf den aktuellen Stand naturwissenschaftsdidaktischer Unterrichtsforschung gebracht werden. Mittlerweile sehen gesetzliche Vorgaben (z. B. KMK, 2016, S. 20) unabhängig vom Typ der Lehrerbildungsstätte vor, dass Studierende im Lehramtsstudium „mit basalen Arbeits- und Erkenntnismethoden der Biologie [vertraut gemacht werden] und [...] über Kenntnisse und Fertigkeiten [...] im hypothesengeleiteten Experimentieren“ sowie „über erste reflektierte Erfahrungen in der kompetenzorientierten Planung und Durchführung von Biologieunterricht“ verfügen sollen. Darüber hinaus sind Kompetenzen zur Binnendifferenzierung, Diagnostik und Evaluation (vgl. ebd., S. 20 f.; Pandel, 2008, S. 4; Wu & Hsieh, 2006, S. 1308) erklärtes Ziel der ersten Ausbildungsphase.

Berufsbegleitende *Fortbildungen* zur Optimierung Forschenden Lernens in der dritten Ausbildungsphase (vgl. Großschedl et al., 2016, S. 20) sowie *autodidaktische Aneignung* mithilfe von Lehrerhandreichungen und didaktisch-methodischen Impulsen durch schulpraxisorien-

tierte oder fachdidaktische Publikationen können sich sehr positiv auf die Unterrichtsqualität auswirken (vgl. Hattie, 2013, S. 143 ff., 248). So fand u. a. Maiseyenko (2014, S. 172), dass Lehrkräfte durch Fortbildungen über Möglichkeiten eines „modellbasierten experimentellen Unterrichts“ (ebd., S. 2) einen längerfristig stärker kompetenzförderlichen Unterricht gestalten als Lehrkräfte ohne Qualifizierung zu modellbasiertem Experimentalunterricht (vgl. ebd., S. 159). Im Rahmen der spezifischen Fortbildung lernten die Lehrpersonen Möglichkeiten der Öffnung des experimentellen Problemlösens und der Schwerpunktsetzung bei der Förderung einzelner Teilkompetenzen sowie Diagnosemaßnahmen kennen (vgl. ebd., S. 104 ff.). Insofern spielen sowohl deklaratives, prozedurales und konditionales Fachwissen (z. B. zur experimentellen Methode) als auch Fachdidaktisches Wissen in der Kombination eine wichtige Rolle (vgl. Emden & Baur, 2016, S. 10 f.). Lehrkräfte, die kriteriengeleitet und modellbasiert Lernsettings gestalten, Unterrichtsmedien auswählen oder erstellen sowie gezielt und präzise Feedback zu geben vermögen (vgl. Maiseyenko, 2014, S. 99), tragen nachgewiesenermaßen effektiver zur Förderung experimenteller Kompetenzen bei. Allerdings steht und fällt die reflektierte Übernahme bzw. an Voraussetzungen konkreter Lerngruppen orientierte Adaption bewährter Theorien, Kompetenzmodelle, Unterrichtskonzepte und -medien durch Naturwissenschaftslehrkräfte Maiseyenko (2014, S. 2, 86, 171 f.) zufolge mit der Plausibilität, Akzeptanz und pragmatisch-praktikablen Umsetzbarkeit der fachdidaktischen Neuerungen im Schulalltag. Emden und Baur (2016, S.12 ff.) benennen folgende Merkmale besonders *wirksamer und nachhaltiger Fortbildungsmaßnahmen* im Zusammenhang mit der Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit: Diese sollen „intensiv und kontinuierlich angelegt“ sein, inhaltliche schulpraxisrelevante Schwerpunkte fokussieren, sich an den konkreten schulischen Rahmenbedingungen, Lernvoraussetzungen und Bedürfnissen der teilnehmenden Lehrkräfte orientieren, „vielfältige Möglichkeiten zum aktiven Lernen“ sowie reflexive Phasen und Feedback umfassen sowie kooperative Elemente beinhalten (vgl. auch Gräsel & Parchmann, 2004 a, S. 178, 180).

Lehrkräfte, die bereits viele Jahre in der Schule tätig sind, erhalten bei der Einführung neuer Bildungspläne Impulse durch innovative Schulbücher oder digitale Medien. Eine besonders effektive Maßnahme zur Implikation dieser Neuerungen sind Fortbildungen zu den innovativen Schulbüchern mit aktuellen und in der Praxis erprobten exemplarischen *Umsetzungsbeispielen* (vgl. Krämer, Nessler & Schlüter, 2015, S. 131; Parchmann & Kaufmann, 2006, S. 8 f.; Stäudel, 2004, S. 5; Wenning & Sandmann, 2016) und *Unterrichtsmaterialien* (vgl. Paul & Groß, 2016, S. 70).

Angesichts neuer fachdidaktisch-methodischer Konzepte sind auch *Fortbildungen zu kontextbasiertem Lernen* (vgl. Demuth et al., 2008, S. 6; Sadler, 2011, S. 15; Thyssen et al., 2016, S. 221) oder dem *Cognitive Apprenticeship-Ansatz* und damit verbundene Möglichkeiten

der instruktionalen Unterstützung, kontextuellen Gestaltung oder Öffnung von Aufgaben (vgl. Reiss & Ufer, 2010, S. 203 f.) von Interesse. In den Schulklassen fortgebildeter Lehrkräfte konnte eine bessere Performanz im Bereich experimenteller Problemlösefähigkeit festgestellt werden (vgl. Emden et al., 2010, S. 280). Dies wird begünstigt, wenn längerfristig und in *kollegialen „Lerngemeinschaften“* (Emden & Baur, 2016, S. 16; Hervorhebung durch den Verfasser) angelegte Fortbildungen um Reflexions- und Austausch-, ggf. sogar begleitete Praxis- und Feedbackphasen ergänzt werden (vgl. Bayrhuber, Bögeholz, Eggert et al., 2007, S. 311; Beerenwinkel & Totter, 2011, S. 493 ff.; Maiseyenko, 2014, S. 33 f., 85, 167, 171). Informative Handreichungen, ausführliche Hinweise und die eigenständige, kooperative Konstruktion von Lernaufgaben gemäß elaborierter erprobter Beispiele (vgl. Lipowsky, 2010, S. 59) können in der dritten Ausbildungsphase einen wichtigen Beitrag zur beruflichen Professionalisierung leisten (vgl. Bayrhuber, Bögeholz, Eggert et al., 2007, S. 311; Bayrhuber, Bögeholz, Elster et al., 2007, S. 282 f.; Korneck & Picard, 2006, S. 1). Von großem Nutzen kann auch ein intensiverer Austausch zwischen in der Unterrichtsforschung Tätigen und Lehrkräften sein (vgl. Evans & Koballa, 2002, S. 123 f.; Maiseyenko, 2014, S. 167).

4.9 Forschendes Lernen bzw. Forschend-entwickelndes Unterrichtsverfahren

*„Instead of memorizing definitions and facts,
students should develop meaningful understandings
and construct scientific explanations by exploring natural and scientific phenomena [...].“*
(Wu & Hsieh, 2006, S. 1289)

*„Es ist der Prozeß⁴⁷, verifiziert durch die Ergebnisse, und nicht so sehr die Ergebnisse selbst,
der die Kraft des logischen Denkens in den Naturwissenschaften zum Ausdruck bringt.
Die Prozesse sind es, die Naturwissenschaft, [sic] überhaupt erst möglich machen. [...]
Ich bin der Überzeugung, daß [sic] in unserem naturwissenschaftlichen Unterricht der Prozeß
der Naturwissenschaft stärker hervorgehoben werden muß⁴⁸. Es muß deutlich werden,
wie wir die Dinge, die wir über die Natur wissen, herausgefunden haben und warum wir
von ihrer Wahrheit überzeugt sind.“*
(Shamos, 2002, S. 47 f.)

⁴⁷ [sic]

⁴⁸ [sic]

Dass sich naturwissenschaftliche Grundbildung im Hinblick auf eine sich immer schneller wandelnde Welt mit immer wieder neuen Herausforderungen und Erkenntnissen nicht im bloßen Memorieren naturwissenschaftlichen Fachwissens erschöpfen darf, wurde bereits in Kapitel 1 ausführlich begründet. Schon vor einem Jahrhundert moserten Reformpädagogen wider das „enzyklopädische Fieber aller naturwissenschaftlichen Lehrstoffpläne“ (Kerschensteiner, 1963, S. 34). Vielmehr sollte die wertvolle Unterrichtszeit der „Erziehung zum logischen Denken“ (ebd.) gewidmet sein. Kerschensteiner (1963, S. 126) betonte im Zusammenhang mit dieser Intention den „Wert der experimentalen Schülerübungen“. So eignete sich seiner Meinung nach die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit zur „Einführung in den Geist des Forschens, in das Wesen der naturwissenschaftlichen Untersuchung“, er plädierte in Worten seiner Zeit für „die Ausnützung des naturwissenschaftlichen Unterrichtes für die Förderung der geistigen Zucht, des logischen Denkens“ (ebd., S. 130). Ab diesem Abschnitt wendet sich die vorliegende Arbeit somit der Ebene der *Unterrichtsprozesse* zu und widmet sich zuallererst dem Teilbereich der Unterrichtsmuster (vgl. Abb. 4-1).

Wie in den Abschnitten 3.3.2.1 und 3.3.2.2 dargelegt, erfordert jedoch auch *naturwissenschaftliches Problemlösen Domänenwissen* (vgl. Heimann & Neumann, 2011, S. 26; Hopf & Wiesner, 2005, S. 151; Zhang et al., 2015, S. 530). Schon alleine deshalb haben *beide* Kompetenzbereiche – *Fachwissen* und *Erkenntnisgewinnung* – ihre curriculare Daseinsberechtigung und sind als *Zielkriterien von Naturwissenschaftsunterricht* (s. Abb. 4-1) nicht wegzudenken. Seit einigen Jahrzehnten versucht man, die beiden gewichtigen Schwerpunkte der Bildungspläne beim Forschenden Lernen zum beidseitigen Benefit zusammenzubringen. Dieser Abschnitt widmet sich intensiv diesem didaktischen Ansatz, indem zuerst der Begriff des „*Forschenden Lernens*“ illustriert wird. Anschließend stehen Hauptwesenszüge dieses inzwischen sehr populären Konzepts im Mittelpunkt. Diese gilt es nicht nur zu beschreiben, sondern auch deren Zusammenhänge untereinander sowie damit verbundene unterrichtliche Stärken und Herausforderungen aufzuzeigen. Im Mehrebenenanalytischen Rahmenmodell (s. Abb. 4-1) ist der Ansatz Forschenden Lernens als eine Art Unterrichtsmuster auf der Ebene der *Unterrichtsprozesse* verortet.

4.9.1 Zum Begriff „Forschendes Lernen“

„[...] a question-driven learning process involving conducting scientific investigations, documenting and interpreting narrative or numerical data, and summarizing and communicating findings“.

(Wu & Hsieh, 2006, S. 1290)

Fachinhaltliche Kompetenzen im Zusammenhang mit naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung inklusive der dafür erforderlichen Problemlösefähigkeit zu fördern (vgl. Flick, 2000, S. 109; Mayer, 1998, S. 248, 250), stellt in den vergangenen Jahren ein zunehmend populäres Ziel und einen bewährten unterrichtlichen Ansatz im Naturwissenschaftsunterricht dar (vgl. Bybee, 2006, S. 9; Krämer, Nessler & Schlüter, 2015, S. 123; Kremer & Schlüter, 2008 b, S. 46 f.; Nehring, Nowak, Upmeyer zu Belzen & Tiemann, 2015; Reitinger, 2013, S. 14; Wichmann & Leutner, 2009, S. 117). Beim Forschenden Lernen, das zuweilen auch als „Forschend-entwickelndes Unterrichtsverfahren“⁴⁹ bzw. „Forschend-entwickelndes Lernen“ (vgl. z. B. Bayrak, Hoffmann & Ralle, 2015, S. 178; Schmidkunz & Lindemann, 2003) und im anglo-amerikanischen Sprachraum als *inquiry based science teaching* bzw. *education* (vgl. Benke, 2011, S. 284; Krämer, Nessler & Schlüter, 2015, S. 121 f.; Reinfried, 2006, S. 124) bezeichnet wird, steht der Prozess naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung (vgl. Höttecke, 2004 b, S. 47 f.) samt Schulung von – z. B. experimenteller – Problemlösefähigkeit neben dem Erwerb von Fachwissen und anderen Kompetenzen im Fokus (vgl. Arnold & Kremer, 2012, S. 15; Hameyer & Streng, 1986 a, S. 20; Hart et al., 2000, S. 661; Huang, 2008, S. 310; Mayer, 2002; Mayer & Ziemek, 2006, S. 7, 12; Messner, 2009 a, S. 23; Neuhaus, 2011, S. 14; Stäudel, 2004, S. 6; Stäudel, 2010, S. 31; Stäudel, 2014, S. 79, 83 ff.; Tamir, 1998, S. 775; Ullrich, 2005, S. 118).

Viele dieser curricularen Ansätze wie z. B. *Science as a process* im englischsprachigen Raum intendieren darüber hinaus, dass Lernende ein angemesseneres Wissenschaftsverständnis entwickeln (vgl. Bybee, 1997, S. 111; Flick & Lederman, 2006, S. x): Forschendes Lernen gestattet wie auch historisch-problemorientierter⁵⁰ Naturwissenschaftsunterricht (vgl. Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, S. 673; Höttecke, 2004 a, S. 43 f.; Kim & Irving, 2010, S. 188 ff.), die explizite metatheoretische Reflexion, z. B. in einer „*Reflection corner*“ (Henke, 2016, S. 132; Hervorhebung durch den Verfasser) im Fachraum bzw. Klassenzimmer, samt Denkipulsen und Arbeitsaufträgen zu diversen *Nature of Science*-Aspekten in wissenschaftliche, forschungsähnliche Erkenntnisgewinnungsprozesse einzubetten, vorzugsweise flankiert durch Diskussionen und Argumentation (vgl. Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, S. 682, 690; Flick, 2000, S. 119; Grygier, 2007, S. 17 ff.; Grygier, 2011, S. 132; Hofheinz, 2010 a, S. 50, 55; Hofheinz, 2010 b, S. 12 f.; Höttecke, 2004 a, S. 270; Höttecke, 2008, S. 6; Höttecke, 2010, S. 9; Höttecke & Rieß, 2015, S. 130; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002, S. 574; Kircher, 2008, S. 12; Kremer et al., 2013, S. 6 f.; Kremer, Urhahne & Mayer, 2008, S. 40; Kruse & Denz, 2015, S. 292; Lunetta et al., 2007, S. 409; Paul & Groß, 2016; Sodian et al., 2002, S. 194; Stäudel, 2010, S. 31 f.; Stäudel, Pfeifer & Sommer, 2010, S. 41; Urhahne et al., 2008, S. 74;

⁴⁹ Bei dieser Ausprägung kommt der Lehrkraft eine stärker gestaltende und instruierende Rolle zu.

⁵⁰ Henke (2016) spricht von „historisch orientiertem Unterricht“ und verwendet damit eine allgemeinere Bezeichnung, die als Oberbegriff angesehen werden kann und Problemorientierung nicht zwangsläufig als Charakteristikum umfassen muss.

Wüller & Bohrmann, 2011, S. 2). Birkholz und Elster (2016, S. 80) weisen allerdings darauf hin, dass Experimente mit aktuellem Lebensweltbezug für die Lernenden oftmals attraktiver und motivationsförderlicher seien als historische Kontexte. Überdies benötigen Lernende zahlreiche Hintergrundinformationen zu historischen Details (vgl. Henke, 2016, S. 126), wenn man einen solchen Lernkontext wählt. Entsprechend wird die für die intendierte Förderung wissenschaftsmethodischer Kompetenzen zur Verfügung stehende Zeit reduziert. Henke (2016, S. 139 ff.) gibt daher zu bedenken, dass aber ggf. spezielle Aspekte des NOS-Verständnisses im Unterricht besonders gut fokussiert werden können (vgl. auch Abschnitt 4.9.6.5). Dies sollte – neben der Interessenslage der Lernenden für die Naturwissenschaften oder geschichtliche Themen – bei der Entscheidung für die Wahl des Unterrichtsverfahrens mitberücksichtigt werden: Forschendes Lernen bzw. Historisch (problem-)orientierter Unterricht eignen sich je nach Zielsetzung als Ansatz unterschiedlich gut.

Eines der *zentralen Charakteristika Forschenden Lernens* ist ergo die systematische und adäquate Thematisierung und v. a. Anwendung von Methoden, epistemologischen Prinzipien und Strategien (vgl. Helmke, 2009, S. 69; Höttecke, 2010, S. 7)⁵¹. Unter anderem wurde in der Studie von Arnold (2015, S. 244) nachgewiesen, dass die Förderung Wissenschaftlichen Denkens und der Aufbau von Methodenwissen (vgl. auch Ehmer, 2008) bei gleichzeitigem Erwerb von Fachwissen möglich ist. Schmidt und Bogner (2015) sowie Steigert und Schrenk (2012) fanden, dass sich strukturiertes *Inquiry-Learning* auch auf den längerfristigen Fachwissenserwerb positiv auswirkt. Forschendes Lernen ist Hattie (2013, S. 247) zufolge jedoch v. a. hinsichtlich der Förderung der Kompetenzen in Verbindung mit naturwissenschaftlichen Erkenntnismethoden effektiv, weniger im Bereich des Erwerbs naturwissenschaftlichen Fachwissens, wo andere Unterrichtsmethoden oftmals wirkungsvoller sind, wenn dieses ausschließlich im Fokus steht (vgl. auch Hart et al., 2000, S. 658; Martius et al., 2016, S. 220)⁵².

Forschendes Lernen muss sich nicht auf Lernaktivitäten während des Unterrichts beschränken: Auch als vorbereitende Hausaufgaben können experimentell zu lösende ‚Forscheraufträge‘ zur Eigenständigkeit beitragen, sofern die Lernenden dabei selbstständig Teile der experimentellen Problemlösung entwickeln bzw. beurteilen und ausführen sowie kritische reflektieren können (vgl. Herold, Burek & Späth, 2003, S. 17 (67); Muckenfuß, 2010, Internetdokument: S. 14).

⁵¹ Hier zeigt sich, wie wichtig es ist, methodologisch eindeutig definierte Begriffe zu verwenden, z. B. mit einem streng naturwissenschaftlichen Verständnis von „Experiment“ (s. Abschnitte 2, 2.1 und 4.11.3).

⁵² Aufgrund unterschiedlicher Herangehensweise sind die Befunde jedoch nicht einheitlich. Zacharia (2005, S. 1761) etwa fand, dass computergestütztes Experimentieren das Verständnis naturwissenschaftlicher Phänomene qualitativ und quantitativ stärker zu verbessern und zu vertiefen vermag als die Auseinandersetzung mit Fachbüchern, was sich in elaborierteren Erklärungen der Sachverhalte widerspiegelt.

4.9.2 Forschendes Lernen – ein moderat konstruktivistischer Ansatz

Forschendes Lernen ist abzugrenzen vom *Entdecken(lassen)den Lernen* („discovery learning“, „discovery and/or implicit teaching“; Holliday, 2006, S. 202), welches v. a. eigenständigen Aktionismus der Lernenden ohne Unterstützung durch die Lehrkräfte bedeutet (vgl. Holliday, 2006, S. 202 ff.). Dass bei der letztgenannten unterrichtlichen Herangehensweise methodologisch korrekte Denk- und Arbeitsweisen angeeignet und ein angemessenes *Nature of Science*-Verständnis erworben werden, ist jedoch fraglich und geschieht wenn überhaupt wohl eher zufällig und beiläufig. In jedem Fall ist die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit durch *angeleitetes, bewusstes Reflektieren* und *gezielte instruktionale Unterstützung* effektiver (vgl. Birkholz & Elster, 2016; Maiseyenko, 2014, S. 25; Paul & Groß, 2016; Windt et al., 2014, S. 82). Zahlreiche Übungsmöglichkeiten ohne instruktionale Unterstützung können zwar durchaus zur Verbesserung wissenschaftlichen Denkens und experimenteller Strategien führen, wie Kuhn, Schauble und Garcia-Mila (1992, S. 322) fanden. Allerdings stellt sich die Frage, ob sich dieser Befund v. a. der durch Interview-Impulse angelegten Reflexion verdankt (vgl. ebd., S. 323), was auch als instruktionale Unterstützung interpretiert werden könnte. Die Gefahr hingegen, dass beim Entdecken lassenden Lernen falsche Vorstellungen und Fehlstrategien entstehen, die nur schwer wieder verändert werden können, ist offensichtlich größer (vgl. Alfieri, Brooks, Aldrich & Tenenbaum, 2011, S. 12; Keselman, 2003, S. 918). Besonders für leistungsschwache Lernende ist offenes, rein exploratives (vgl. Reinmann & Mandl, 2006, S. 626, 634) Entdeckendes Lernen i. A. wenig effizient (vgl. Alfieri et al., 2011, S. 12 ff.; Holliday, 2006, S. 203; Kirschner et al., 2006; Riess, 2013, S. 63; Windt et al., 2014, S. 73), z. T. sogar nachteilig, weil Lernende z. B. von sich aus keine guten epistemischen Fragen formulieren und sich i. d. R. bei der Hypothesenprüfung schwerer tun (vgl. Neber & Anton, 2008 b, S. 144). Reine *hands-on*-Experimente führen ohne explizite Reflexion, Argumentation, gemeinschaftliche Diskussion, Anwendung der *Nature of Science*-Konzepte und gezielte Denkanstöße durch die Lehrkraft oder Medien auch nicht zu einer nennenswerten Verbesserung des Wissenschaftsverständnisses (vgl. Hart et al., 2000; Lunetta et al., 2007, S. 410; Mayer, 1998, S. 237; Paul & Groß, 2016): Da vorunterrichtliche Präkonzepte relativ stabil sind, empfiehlt es sich, Lernende wiederholt „zum Überdenken und Revidieren ihrer Vorstellungen zu ermutigen und zu befähigen“ (Widodo & Duit, 2004, S. 240).

Um experimentelle Problemlösefähigkeit umfassend fördern zu können, darf sich Unterricht also nicht allein auf Schülerexperimente beschränken, die zwar handlungsorientiert aber nach exakter Anweisung durchgeführt werden. Vielmehr gilt es, den gesamten Erkenntnisgewinnungsprozess stärker schülerorientiert auch i. S. von „*minds-on*“-Aktivitäten zu gestalten (vgl. Baumert & Köller, 2000, S. 292; Hammann, Ganser & Haupt, 2007, S. 88; Höttecke, 2010, S. 8): „Um ein Verständnis naturwissenschaftlicher Forschung zu entwickeln,

müssen die Schülerinnen und Schüler lernen, vor einem bestimmten Wissenshintergrund eigene naturwissenschaftliche Fragestellungen zu formulieren und zu konkretisieren [vgl. auch Neber & Anton, 2008] und für diese angemessene Untersuchungszugänge zu planen und umzusetzen“ (Seidel et al., 2007, S. 158).

Holliday (2006, S. 204 f.) wirbt vor diesem Hintergrund für Forschendes Lernen, das sich durch eine Ausgewogenheit expliziter und impliziter Vermittlung auszeichnet und der praxisorientierten Position des moderaten, also gemäßigten Konstruktivismus‘ zugerechnet werden kann (vgl. Reinmann & Mandl, 2006, S. 636 ff.; Widodo & Duit, 2004, S. 234). Dabei werden die Eigenaktivität und Konstruktion der Lernenden mit instruktionaler Unterstützung durch die Lehrkraft bzw. Lernumgebung kombiniert (vgl. Marsch, Hartwig & Krüger, 2009, S. 109; Renkl, 2010, S. 742). In den Abschnitten 4.9.7 und 4.9.8 folgen weitere Erläuterungen zur Offenheit beim Lernen einerseits und zur Instruktion andererseits als wichtige Wesenselemente Forschenden Lernens.

4.9.3 Forschend Experimentieren lernen

„Beim experimentellen Arbeiten ist die Zunahme des Wissens an die gleichzeitige Entwicklung von Fähigkeiten und Fertigkeiten gebunden.“
(Meyer, 1986, S. 302)

Viele Autoren (z. B. Neber & Anton, 2008 a, S. 144) betrachten Experimentieren als „wohl wichtigste Form“ fachgemäßer Erkenntnismethoden dieses naturwissenschaftsdidaktischen Unterrichtsansatzes. Da beim Experimentieren „Fakten- und Konzeptwissen mit Anwendungs- und Methodenwissen zur Erkenntnisgewinnung vernetzt“ wird (Meier & Mayer, 2011, S. 132), bieten sich Schülerexperimente ideal für Forschendes Lernen an (vgl. Meier & Wulff, 2013, S. 485). Experimentalunterricht kann unter Nutzung des hypothetico-deduktiven Verfahrens (vgl. Schmidkunz & Lindemann, 2003) hervorragend durch die einzelnen Schritte des Experiments strukturiert werden (vgl. Stäudel, 2004, S. 6; Wahser, 2007). Neben dem Erwerb experimenteller Problemlösefähigkeit durch die „Vermittlung der Methodik von wissenschaftlichem, diszipliniertem und logischem Arbeiten“ (Meier & Wulff, 2013, S. 485) beim Experimentieren stellt auch das explizite Nachdenken über diese Erkenntnismethoden ein wichtiges Ziel als Basis für ein tieferes *Nature of Science*- und Epistemologie-Verständnis dar (vgl. Nehring, Nowak, Upmeyer zu Belzen & Tiemann, 2015).

Forschendes Lernen unter besonderer Berücksichtigung des Schülerexperiments zu gestalten, ist als unterrichtlicher Ansatz nicht neu, wie man angesichts einer in den vergangenen

Jahren geradezu explodierenden Fülle neu erscheinender schulpraktischer Materialien, didaktisch-methodischer Handreichungen sowie naturwissenschaftsdidaktischer Studien vermuten könnte: Bereits vor über einem Jahrhundert machten sich Reformpädagogen wie Schmeil in Biologie (vgl. Kattmann, 2013, S. 126, 130) und Kerschensteiner (1963) in der Physik für die Förderung experimenteller Kompetenzen in Verbindung mit der Erarbeitung fachwissenschaftlicher Inhalte stark (vgl. Merzyn, 2015, S. 6). Immer wieder gab es seitdem (vgl. Höttecke & Rieß, 2015, S. 129) fachdidaktische Bestrebungen, selbstständigem Experimentieren im Naturwissenschaftsunterricht mehr Raum einzuräumen (z. B. Hameyer, 1987; Hameyer, Dudek, Friis & Strenge, 1988; Hameyer & Strenge, 1988 a und b; Neuhaus, 1979, S. 7 ff., 14 ff., 105 ff.; Töpfer, 1966, S. 1).

Experimente können im Rahmen des Forschend-entwickelnden Verfahrens in ganz verschiedenen *Unterrichtsphasen* verortet sein und dabei unterschiedliche *Funktionen* erfüllen. Je nach Position in der Artikulation des Lehr-Lernprozesses ergeben sich differente Charakteristika (z. B. Möglichkeiten, Einschränkungen, Gestaltungsmerkmale; vgl. Greving & Paradies, 1996, S. 17 ff., 144 ff.; Klautke, 1990, S. 71 f.; Moisl, 1988, S. 8; Pfeifer et al., 2002, S. 205 ff.; Killermann, Hierung & Starosta, 2008, S. 150 f.; Otto, 2006, S. 128 ff.; Schmidkunz, 2005, S. 19; Schmidkunz & Lindemann, 2003, S. 23 ff.; Stripf, 2006, Bd. 1, S. 109 f.; Wilhelmi, 2012, S. 7). Diese zu erfassen und zu vergleichen, lohnt sich im Hinblick auf das Naturwissenschaftsverständnis. Die in bestimmten Unterrichtsphasen mit Experimenten verbundenen Besonderheiten und Funktionen sind in Tabelle 4-3 zusammengestellt.

Als Beispiel für einen wichtigen Unterschied wird die jeweilige *Bedeutung und Stellung von Forschungsfragen und Hypothesen* bei verschiedenen Experimentkategorien betrachtet, abhängig von deren Position bzw. Funktion im Unterrichtsverlauf: Während etwa beim *Einführenden Experiment* erst in dessen Verlauf eine Frage auftaucht und der Hypothesensuchraum erst im Anschluss an die Beobachtung der Effekte eine Rolle spielt, dient ein *Klärendes Experiment* der Beantwortung einer im Vorfeld generierten Frage und der empirischen Prüfung von *a priori*-Hypothesen. Setzt eine Lehrkraft v. a. Einführende Experimente als motivierenden Einstieg ein, könnte bei manchen Lernenden der Eindruck entstehen, Experimente dienten in erster Linie der Veranschaulichung oder der Produktion erwünschter Effekte, deren zugrundeliegende Kausalbeziehungen längst bekannt und unumstößliches Wissen seien. Dem gilt es durch Reflexion und Variation der Funktion entgegenzuwirken.

Tab. 4-3. Stellung und didaktische Funktionen von Experimenten im Unterrichtsverlauf

Bezeichnung der Kategorie	Unterrichtsphase	Funktionen	Charakteristika / Anmerkungen
Einführendes Experiment	Einstieg	Polarisation der Aufmerksamkeit, Steigerung der Lernmotivation, Hervorrufen eines kognitiven Konflikts, Aktivierung von Vorwissen, Problemgewinnung, Aufbau einer Fragehaltung, phänomenologische Verrätselung eines an sich bekannten Zusammenhangs; Präsentation eines Phänomens; induktive Gewinnung von Vermutungen	Möglichkeit, an Vorwissen & -erfahrungen anzuknüpfen; ggf. (bewusst angestrebt) wenig Vorwissen vorhanden; häufig Demonstrationsexperiment
Entdecken- des bzw. Klärendes Experiment	Erarbeitung / Problem- lösung	Beantwortung zuvor generierter Forschungsfragen, Überprüfung aufgestellter Hypothesen oder Vermutungen, Lösung von Problemen in Zusammenhang mit Kausalbeziehungen, Reflexion über Problemlöseprozess	Induktives Experiment oder deduktive Nutzung von Vorwissen bei der Formulierung von Fragen und Hypothesen sowie Anwendung von bereits erworbenen Kompetenzen bei Planung, Durchführung und Auswertung
Bestätigendes Experiment	Anwendung / Übung	Wissenssicherung, Reorganisation, vorhandene Erkenntnis wird nochmals überprüft, zusätzliche Veranschaulichung, Ergebnissicherung, Üben, Wiederholen des Gelernten, naher Transfer, Elaboration	Anwendung des Vorwissens und Nutzung von Kompetenzen
Weiterführendes Experiment	Vertiefung	Weiter Transfer, Anwenden in multiplen Kontexten, Vertiefung des Gelernten, Reflexion über Problemlöseprozess	Mehr oder weniger eigenständiges Problemlösen

4.9.4 Wesentliche Merkmale Forschenden Lernens im Überblick

Welche *Charakteristika* Forschenden Lernens begünstigen die *Effektivität* dieses didaktisch-methodischen Ansatzes in Bezug auf die Kompetenzförderung? Euler (2009, S. 812 f.) fasst in seiner „Checkliste für Gelingensfaktoren“ in Abbildung 4-2 „relevante Randbedingungen und instruktionale Maßnahmen zusammen“. Bereits angesprochen wurden an anderen Stellen dieser Arbeit die Bedeutung des Anknüpfens an Vorkenntnisse, -erfahrungen und Präkonzepte der Lernenden (s. Abschnitt 4.7.3), Elaboration, Anwendung und vertikaler sowie horizontaler

Transfer (s. Abschnitt 3.3.2.2), Zieltransparenz (s. Abschnitte 4.2 und 4.9.8.1) und der Benefit von Kompetenzerleben für die Lernmotivation (s. Abschnitte 4.6, 4.7.4, 4.8.2.3 und 4.9.7.3).

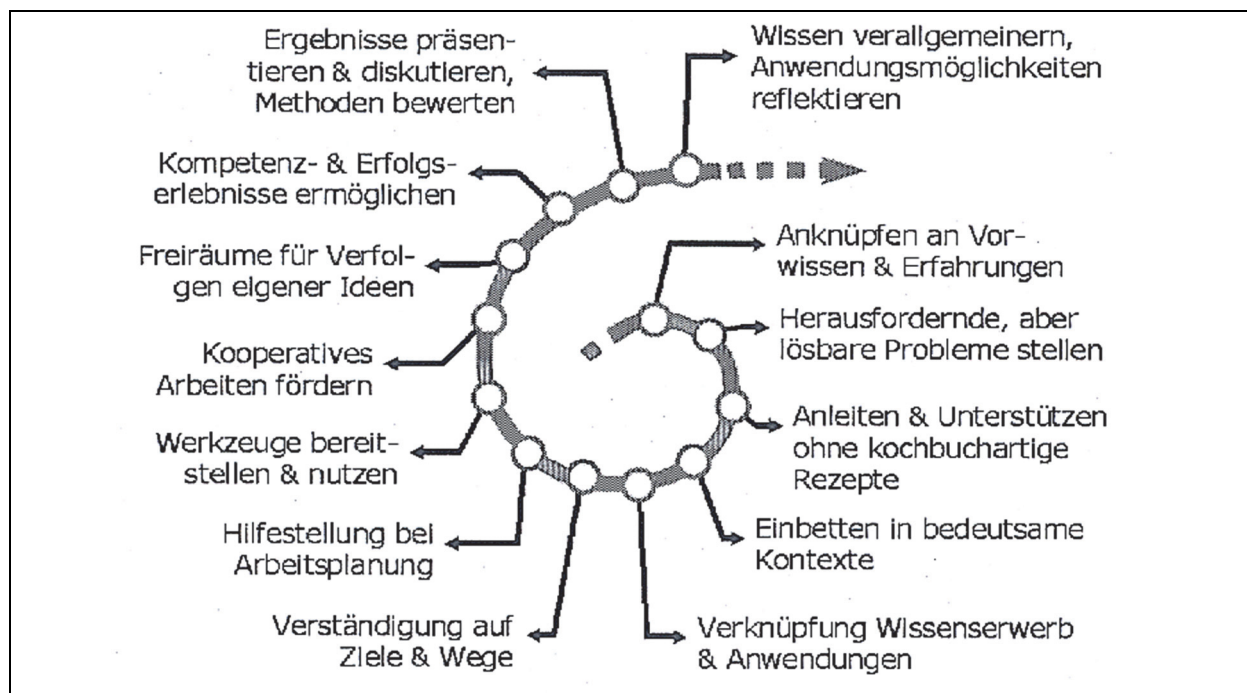


Abb. 4-2. Gelingensfaktoren für Forschendes Lernen

Eulers (2009, S. 812) Schema (s. Abbildung 4-2) zählt weitere *Gelingensbedingungen* auf, die den vier charakteristischen Hauptelementen, also *Kernprinzipien Forschenden Lernens* sensu Mayer und Ziemek (2006, S. 7 ff.; vgl. auch Mayer, 2014, S. 107 f.) als Beispiele zugeordnet werden können, wie Tabelle 4-4 zeigt:

Tab. 4-4. Elemente Forschenden Lernens und Beispiele

Element	Beispiel(e)
Problemorientierung	„Herausfordernde, aber lösbare Probleme stellen“
Kontextbasierung / -orientierung	„Einbetten in bedeutsame Kontexte“, „Verknüpfung Wissenserwerb & Anwendungen“, „Anwendungsmöglichkeiten reflektieren“
Offenheit	„ohne kochbuchartige Rezepte“, „Freiräume für Verfolgen eigener Ideen“
Kooperation	„Kooperatives Arbeiten fördern“, „Ergebnisse präsentieren & diskutieren“

Anmerkung. Die Beispiele sind direkte Zitate aus Euler (2009, S. 612).

Ein wesentliches Prinzip problemorientierten Lernens (vgl. Reinmann & Mandl, 2006, S. 641) und moderat konstruktivistischer Lernumgebungen (vgl. Abschnitte 4.8.4, 4.9.2 und 4.9.8)

allgemein ist die *instruktionale Unterstützung* der Lernenden. Auch sie wird bei Euler (2009, S. 612) mehrfach angesprochen: „Anleiten & Unterstützen“, „Hilfestellung bei Arbeitsplanung“ sowie „Werkzeuge bereitstellen“. Diese vier Elemente (vgl. Tabelle 4-4) bzw. Wesenszüge nach Mayer und Ziemek (2006), die Forschendes Lernen auch in der Kategorie „situiertes Lernen“ verorten (vgl. Gräsel & Parchmann, 2004 a, S. 172), werden in den folgenden Abschnitten nicht nur konzeptionell beschrieben, sondern dabei auch angesichts empirischer Befunde der naturwissenschaftsdidaktischen Unterrichtsforschung konstruktiv-kritisch erörtert.

4.9.5 Problemorientiertes Lernen

*„Wir lernen nicht aus blinden Erfahrungen,
sondern indem wir über Probleme stolpern und Fragen stellen“.*
(Popper, 1974, zitiert nach Wilhelmi, 2011, S. 4)

Schmidkunz und Lindemann (2003, S. 10) betrachten das Forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren als „Ansatz zum systematischen Problemlösen“: „Das Lernen aus Problemsituationen ist für das Forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren das grundlegendste Lernprinzip“ (ebd., S. 15). Beim *problembasierten Forschenden Lernen* geht der Unterricht von mehr oder weniger komplexen und daher anspruchsvollen Problemsituationen in authentischen lebensweltlichen *Kontexten* aus (s. auch Abschnitte 4.9.6.1 und 4.9.6.3; vgl. Hofheinz, 2010 a, S. 52). Das zeitgenössische Verb „forschen“ leitet sich vom althochdeutschen *forskan* ab, was mit „fragen nach“ übersetzt werden kann (Wahrig, 1993, S. 493; vgl. Höttecke, 2010, S. 4). Steht zu Beginn Forschenden Lernens ein Problem, etwa ein noch nicht (vollständig) durchdrungenes naturwissenschaftliches Phänomen (vgl. Renkl, 2010, S. 748), so tauchen *Fragen nach Ursache-Wirkungszusammenhängen* auf, die anhand von Experimenten beantwortet werden können. Wie in Abschnitt 3.2 dargestellt, betrachten die meisten Didaktiker Experimentieren als Form naturwissenschaftlichen Problemlösens (z. B. Giest, 2008). Allerdings wird erst mehr oder weniger *offenes Experimentieren* (vgl. Priemer, 2011) zum Problemlöseprozess (s. Abschnitte 3.1 und 3.3).

Damit einhergehende Herausforderungen führen bei den Lernenden „zu einem vertieften Nachdenken, einer intensiven Auseinandersetzung [...] und [...] einer hohen Verarbeitungstiefe“ (Schuler, 2016, S. 207; vgl. auch Flick, 2000, S. 122). Problemorientiertem und -lösendem Unterricht wird somit ein hohes Potential hinsichtlich der *kognitiven Aktivierung* der Lernenden beigemessen (vgl. Baer, Kocher, Wyss & Guldimann, 2015, S. 178). Dies wiederum ist ein wichtiger Faktor effektiver, moderat konstruktivistisch gestalteter Lehr-Lernprozesse (vgl. ebd., S. 177 ff.; Helmke, 2009, S. 204 ff., Mandl & Kopp, 2003, S. 80; Sumfleth et al.,

2002, S. 218), zu denen problembasiertes Lernen gerechnet wird (vgl. Baer et al., 2015, S. 179). Problemorientiertes Lernen ist somit ein Merkmal moderat konstruktivistischer Lernumgebungen, weil dabei stärker angeleitete, strukturierte kognitivistisch geprägte Elemente (etwa instruktionale Unterstützung; s. Rieß & Mischko, 2017) mit konstruktivistischen Merkmalen kombiniert werden (vgl. Jannack et al., 2015, S. 363; Reinmann & Mandl, 2006, S. 639 ff.).

Problemorientiertes Lernen zeichnet sich des Weiteren durch Lernaktivitäten in *verschiedenen Kontexten* aus (vgl. Jannack et al., 2015, S. 363 f.; s. Abschnitte 4.9.6.1 und 4.9.6.3). Dies soll der Flexibilisierung der Kompetenzanwendung dienen und Transferleistungen begünstigen (vgl. Bybee, 2006, S. 6; Mietzel, 2007, S. 337 ff.; Stark, Graf, Renkl, Gruber & Mandl, 1995). Gleichzeitig soll der Unterrichtsgegenstand aus *verschiedenen Perspektiven* betrachtet und *kooperativ* mit anderen Lernenden bearbeitet werden (vgl. Reinmann & Mandl, 2006, S. 640 f.; Urhahne et al., 2000, S. 173 f.). Kognitionspsychologen sehen im Erwerb von Problemlösefähigkeit im Rahmen problemorientierter Unterrichtsettings eine wichtige Grundlage „lebenslangen Lernens“ (Jannack, Knemeyer, Schallies & Marmé, 2015, S. 363; s. auch Abschnitte 1.1 und 1.2).

Bislang wurde Problemorientierung aus *lernpsychologischer* bzw. *allgemein didaktischer Perspektive* betrachtet. Welche Bedeutung kommt der Problemorientierung beim Forschenden Lernen in den Augen von *Naturwissenschaftsdidaktikern* zu? Forschend-entwickelnder Unterricht betont im problemorientierten, situierten Lernen den *Anwendungsbezug naturwissenschaftlicher Kompetenzen* (vgl. Gräsel, 2000, S. 188; Hattie, 2013, S. 249 f.; Jannack et al., 2015, S. 364; Muckenfuß, 1995, S. 341; Nehring, Nowak, Upmeyer zu Belzen & Tiemann, 2015; Reinmann & Mandl, 2006, S. 639 ff.; Vogt & Meier, 2014, S. 190). Ein zentrales, mit problemorientierten Lernumgebungen verbundenes Ziel naturwissenschaftlicher Grundbildung (vgl. Abschnitt 1.2) ist neben der Thematisierung von NOS-Aspekten folglich auch, Lernende auf komplexe und realitätsnahe, kooperativ zu bearbeitende Herausforderungen in verschiedenen schulischen Lern- bzw. auch alltäglichen Anwendungskontexten vorzubereiten (vgl. Gräsel, 2000, S. 188 f.) – nicht zuletzt vor dem Hintergrund der ersten PISA-Befunde (vgl. Gräsel & Parchmann, 2004 a, S. 171). Schmidkunz (2006, S. 92) betrachtet dabei Experimentieren als einen „Teil des Problemlöseverfahrens“ (vgl. auch Mayer, 2007). Problembasiertes Lernen orientiert sich folglich daran, dass die in Alltagssituationen erforderlichen Kompetenzbereiche nicht künstlich separiert, sondern in Lehr-Lernprozessen integriert sowie miteinander vernetzt werden. Im Zusammenhang mit problemorientierten Forschenden Lernen sollten somit die Kompetenzbereiche *Erkenntnisgewinnung* und *Fachwissen* nicht alleine fokussiert werden. Vielmehr gilt, es, diese auch mit den Kompetenzbereichen *Kommunikation* und *Bewertung* zu kombinieren. Wie in Abschnitt 4.9.6.4 weiter ausgeführt, ist dies auch ein

Prinzip kontextorientierten Lernens. Es erscheint plausibel, dass ein solcher Unterricht Lernende noch mehr kognitiv herausfordert, als die Problemlösung selbst. Während viele in der Naturwissenschaftsdidaktik Tätige (z. B. Parchmann, 2009) eine solch anspruchsvolle Herangehensweise befürworten, findet man allerdings kaum empirische Erkenntnisse zur Effektivität entsprechender kontextbasierter Lernumgebungen hinsichtlich der Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit. Diesem Forschungsdesiderat widmet sich die Wirkungsstudie des Verfassers unter anderem (s. Forschungsfrage F-2, Tab. 6-1 in Abschnitt 6.1.7).

Welche Erkenntnisse aus der empirischen Forschung liegen zur Effektivität problemorientierten Lernens vor? Was den Erwerb und das Verständnis deklarativen Faktenwissens betrifft, das später lediglich wiedergegeben werden muss, zeigte sich in diversen Studien, dass stärker instruktional orientierte, lehrerzentrierte und darlegend-informative Lernumgebungen effektiver sind und nachhaltigeres Lernen begünstigen (vgl. Hattie, 2013, S. 250; Schmidkunz & Lindemann, 2003, S. 53 ff.; Unterbruner, Pfligersdorffer & Zumbach, 2008, S. 203, 210)⁵³, v. a. bei Probanden mit „einer höheren Fähigkeit zum naturwissenschaftlichen Denken“ (Besser & Heimann, 2017, S. 198). Das Verständnis und Anwenden von Prinzipien sowie die Abrufbarkeit des Wissens hingegen sowie die Problemlösekompetenz, die Selbstregulation und die Einstellungen gegenüber dem Lernprozess werden durch problembasiertes, weniger stark angeleitetes Lernen effektiver bzw. mindestens gleich stark gefördert (vgl. Hattie, 2013, S. 250; Unterbruner et al., 2008, S. 203, 210).

Ein wichtiges *Merkmal erfolgreichen experimentellen Problemlösens* ist systematisches, mehr oder weniger strukturiertes Vorgehen (vgl. Wellnitz & Mayer, 2012, S. 68 ff.). Es ist also nicht nur ein explizites Kennenlernen, Einüben sowie eigenständiges Nutzen kognitiver Problemlöseheuristiken und Strategien nötig (vgl. Wu & Hsieh, 2006, S. 1294), sondern auch das vorausgehende Training „metakognitive[r] Überwachungs- und Regulationsstrategien [...], um eine qualitätsbezogene Ausführung der Strategie[n] bewusst zu machen und zu fördern“ (Leopold & Leutner, 2002, S. 256; vgl. auch Bannert & Reimann, 2009, S. 78, 81; Götz, Frenzel & Pekrun, 2010, S. 75 ff.; Gürtler, Perels, Schmitz & Bruder, 2002, S. 223 ff.; Leopold, den Elzen-Rump & Leutner, 2002, S. 270 f., 276 ff.; Thillmann, 2007, S. 169). Die Verfügbarkeit „metakognitive[r] Lern- und Reflexionsstrategien“ (Jannack et al., 2015, S. 363) ist somit eine wichtige Voraussetzung erfolgreichen experimentellen Problemlösens (vgl. Abschnitt 3.3.3) – wie auch bei anderen Formen des Problemlösens.

⁵³ Besser und Heimann (2017, S. 195, 198 f.) berichten allerdings auch von Studien, bei denen die Behaltensleistung im Bereich Wissen nach problemorientiertem Unterricht nachhaltiger war, v. a. bei Lernenden mit ausgeprägtem naturwissenschaftlichen Denken.

Ein möglicher *unterrichtlicher Rahmenkontext* problemorientierten Forschenden Lernens kann die Umwelt- bzw. ökologische Bildung darstellen⁵⁴ (vgl. Abschnitte 4.9.6.5, 6.1.1, 6.1.4, 6.1.5, 6.1.6 und 9.2.2), wobei „situations- und handlungsorientierte Unterricht“ansätze (Gräsel, 2010, S. 855) bevorzugt werden. Drei der Einzelbeiträge des Verfassers (Rösch, 2015; Roesch, Nerb & Riess, 2015; Rösch, Rieß & Nerb, 2012) berichten exemplarisch von einer entsprechenden Lernumgebung zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit (vgl. Abschnitte 6.3.3.3, 6.3.3.4, 6.3.3.5 und 9.2.2).

4.9.6 Lernen in authentischen Kontexten

„Lernen, verstanden als Sinn-konstruierendes Verstehen, gründet in Alltagserfahrungen und -vorstellungen, lebensrelevanten Anwendungen sowie fachlichen Strukturen: Kontexte.“
(Langlet, 2008, S. 39)

Im vorausgehenden Abschnitt wurde bereits angedeutet, inwiefern sich *Lernkontexte* hervorragend eignen, Problemorientierung für Forschendes Lernen zu schaffen. Mayer und Ziemek (2006) sehen kontextualisiertes Lernen gar als eines der Hauptelemente Forschenden Lernens an. Nehring et al. (2016, S. 79) betrachten Kontextorientierung darüber hinaus als ein „Qualitätsmerkmal“ von Naturwissenschaftsunterricht allgemein. Mayer (2014, S. 108) führt die aus authentischen Problemen resultierende Lernmotivation (s. Abschnitt 4.9.6.3) im Hinblick auf den „anspruchsvollen Lernprozess“ als Argument an, Forschungsfragen von Schulerperimenten unbedingt „in einen authentischen und schülerrelevanten Kontext ein[z]u-binden“. Viele Autoren (z. B. Di Fuccia & Ralle, 2010) betrachten die Ansätze *Forschendes Lernen* und *Kontextbasiertes Lernen* daher auch als eine optimale Ergänzung. Angesichts dessen, dass sich Kontexte nicht nur zunehmender Beliebtheit auf Seiten der Lehrkräfte erfreuen, sondern überdies in den Kerncurricula verankert sind (vgl. KMK, 2005 a, S. 10; van Vorst, Dorschu, Fechner, Kauertz, Krabbe & Sumfleth, 2015, S. 29), ist als wichtiges Forschungsdesiderat zu klären, in welcher Weise Kontextorientierung die Förderung experimenteller Kompetenzen sowie weitere Personenmerkmale beeinflussen kann und ggf. welche bzw. wann Kontexte sich lernförderlich oder aber -hinderlich auswirken könnten (s. auch Abschnitt 7.5).

In diesem Abschnitt wird zunächst der Begriff des Kontextbezugs präzisiert. Angesichts der Popularität der Kontextorientierung in moderat konstruktivistischen Lernumgebungen gilt es, anschließend sowohl die damit verbundenen Vorteile für Lehr-Lernprozesse zu nennen als

⁵⁴ zur Spezifizierung bzw. Unterscheidung der Begriffe: vgl. Berkowitz (1997), McBride, Brewer, Berkowitz und Borrie (2013), Morrone, Mancl und Carr (2001), Orr (1992), Rieß (2010, S. 99 ff.) sowie Unterbruner (2013).

auch kritisch aufzuzeigen, wo Lernkontexte Risiken bergen und das Erreichen anvisierter Unterrichtsziele gar beeinträchtigen können.

4.9.6.1 Klärung des Begriffs Lern-„Kontext“

Wie in Abschnitt 4.9.6.2 noch ausgeführt wird, erfreut sich *Kontextorientierung* bei der Gestaltung von Lernumgebungen immer größer werdender Beliebtheit. Doch was verbirgt sich hinter diesem *Unterrichtsprinzip*?

Der Begriff „Kontext“ ist ein dem Lateinischen entlehntes Wort. *Contextus* bedeutet zu Deutsch in etwa „Zusammensetzung, Verknüpfung, Verbindung“ (Wahrig, 1995, S. 775). Allgemein kann der Begriff verwendet werden, wenn etwas miteinander ‚verwoben‘ ist, zu einander in Beziehung gesetzt oder in einem anderen Bereich verortet wird. Im Zusammenhang mit Unterricht ist der Begriff weiter zu präzisieren:

Gropengießer und Kattmann (2013, S. 23) betrachten Kontexte als konkrete lebensweltliche Zusammenhänge, in die ein bestimmter Lehr-Lernprozess eingebettet wird. Tabelle 4-5 präsentiert einige weitere Kontext-Definitionen bzw. -Paraphrasierungen von naturwissenschaftsdidaktischen Autoren⁵⁵. Diese sprechen dabei z. T. auch die mit dem Lernkontext verbundenen didaktischen Funktionen bzw. Intentionen an.

Tab. 4-5. Definitionen und Umschreibungen des Begriffs „Kontext“ im didaktischen Sinn

Referenz	Definition bzw. Paraphrasierung
Di Fuccia und Ralle (2010, S. 299)	„Kontexte sind die (komplexen, fachübergreifend angelegten) aktuellen, lebenswelt-bezogenen Fragestellungen, innerhalb derer die sinnstiftenden Beiträge der Wissenschaftsdisziplin einsichtig werden und sich Sachstrukturen erschließen lassen. Ziel soll es dabei sein, die Sinnhaftigkeit der Beschäftigung mit der Wissenschaftsdisziplin einsichtig zu machen und gleichzeitig aus ihr heraus die Entfaltung einer Handlungskompetenz anzubahnen“
Gropengießer (2013 c, S. 246)	„[...] ein biologisches [oder andersartig naturwissenschaftliches bzw. sogar interdisziplinäres] Phänomen [...] oder eine Situation, die mit Biologie [oder einer anderen naturwissenschaftlichen Disziplin] zu tun hat – dies ist der Kontext [einer Lernaktivität]“

⁵⁵ Im Bereich der Lernpsychologie existieren weitere Kontext-Definitionen (z. B. Reinmann & Mandl, 2006, S. 641; Wild, Hofer & Pekrun, 2006, S. 211 f.), die in dieser Arbeit jedoch nicht mit „Lern-Kontext“ assoziiert werden. Van Vorst et al. (2015, S. 30) veranschaulichen anhand der Systematisierung von Finkelstein (2005) mehrere Ebenen: Kontext gleichbedeutend mit „außerschulische[n] Rahmenbedingungen“ als äußerste Ebene, Kontext als „Klassenraumsituation“ (z. B. kooperatives Lernsetting) als mittlere und Kontext als „Aufgabe[n]“-Merkmal als innerste Ebene, wobei „Anwendungen des fachlichen Inhalts innerhalb einer Lern- oder Testaufgabe“ verstanden werden.

Parchmann, Ralle und Di Fuccia (2008, S. 34)	„[...] ein übergeordneter Themenbereich von gesellschaftlicher und/oder persönlicher Relevanz [verstanden], der geeignet ist, der geplanten Unterrichtseinheit eine didaktische Struktur zu verleihen“
Schmiemann, Linsner, Wenning, Neuhaus und Sandmann (2011)	„[...] Rahmen zum Lernen“ (S. 7) „[...] authentische und motivierende Anwendungssituationen, die an die Alltags- und Erfahrungswelt sowie das Vorwissen der Lernenden anknüpfen. Sie ermöglichen Problemlösungen durch Nutzung fachspezifischer Konzepte und die Betrachtung biologischer Inhalte aus der Perspektive verschiedener (Basis-)Konzepte“ (S. 5 f.)
van Vorst, Dorschu, Fechner, Kauertz, Krabbe & Sumfleth (2015, S. 30)	„[...] ‚storyline‘ eines Problems“ „[...] eine außerfachliche Situation, die als Ausgangspunkt für die Erarbeitung des fachlichen Inhalts genutzt wird“ „[...] eine Verflechtung von fachlichen Inhalten und Zugängen, die üblicherweise aus nichtfachlicher Sicht betrachtet werden. Diese können aus Fragen, Problem-, Erlebnis- oder Situationsbeschreibungen bestehen“

4.9.6.2 Kontextorientierung: lange Tradition und aktuelle Trends

Insgesamt befürworten heutzutage zahlreiche didaktische Ansätze, dass situiertes Lernen (vgl. Mandl & Kopp, 2003, S. 73 ff.; Müller, 1996, S. 84 ff.; Sadler, 2011, S. 8) für anwendungsbezogene Kontexte und *in* anwendungsbezogenen Kontexten ausgerichtet sein sollte. Dabei stellen authentische „real-life-problems“ (Kiel, 2010, S. 784) den Kristallisationskeim von Lehr-Lernprozessen dar (s. Tabelle 4-5; vgl. auch Mietzel, 2007, S. 50 f.; Parchmann, Ralle & Di Fuccia, 2008, S. 16).

Ogleich der Ruf nach Schüler-, Lebenswelt- und Anwendungsorientierung bereits zur Zeit der Reformpädagogik (vgl. Jank & Meyer, 2009, S. 320) erscholl, gab es in Deutschland kein didaktisches Kontinuum dieser Konzeption der kontextuellen Verortung von Lernen. Im englisch-sprachigen Raum hingegen richteten Fachdidaktiker schon vor vier Jahrzehnten Lernumgebungen stärker an lebensweltbezogenen Kontexten aus (vgl. Bybee, 1997, S. 6; Lunetta et al., 2007, S. 405; Millar, 2005, S. 323 ff.; Pilot & Bulte, 2006, S. 1088; Sadler, 2011, S. 7; Schwartz, 2006, S. 978, 980; van Vorst, 2013, S. 27). Dort betonten naturwissenschaftliche Curricula im Rahmen des *Scientific Literacy*-Ansatzes die Zusammenhänge zwischen Naturwissenschaften, Technologie und Gesellschaft. Essentieller Bestandteil sind dabei „applications of scientific knowledge to everyday life“ (Bybee, 1997, S. 59). Das heute auch im deutschsprachigen Raum propagierte Konzept der *Scientific Literacy* (vgl. Gräber, Nentwig, Koballa & Evans, 2002; Hammann, 2006 b, S. 131; Spörhase, 2012 b, S. 35) betont die Befähigung, den Alltag und das Berufsleben mithilfe naturwissenschaftsbezogener Fähigkeiten,

Fertigkeiten, Kenntnisse, Werthaltungen und Einstellungen verantwortungsvoll, handlungs- und urteilsfähig zu meistern, als ein Kernziel (vgl. Klieme et al., 2001, S. 180, 183, 187; Werning & Kriwet, 1999, S. 8). Naturwissenschaftliche Grundbildung soll als Komponente von Allgemeinbildung die „ineffektive Kluft zwischen Wissen und Handeln vermeiden helfen“ (Müller, 1996, S. 83). Diese Konzepte stellen daher die aktive Auseinandersetzung (vgl. Mietzel, 2007, S. 316 f.) mit realitätsnahen Rahmensituationen in den Mittelpunkt des Unterrichts (vgl. Ullrich, 2005, S. 26 ff.). Didaktische Ansätze wie „kognitive (Meister-) Lehre“ (*Cognitive Apprenticeship*; vgl. Reinmann & Mandl, 2006, S. 631 f.; Schanze, 2009, S. 20), *Anchored Instruction* oder *Situated Cognition* sind allesamt kontextorientierte Konzepte. Sie weisen Charakteristika auf, die i. S. einer praxisorientierten Position von Lehren und Lernen des gemäßigten Konstruktivismus' individuelle aktive Konstruktion mit instruktionaler, tutorieller Unterstützung (*Coaching*) verbinden (vgl. Di Fuccia, Schellenbach-Zell & Ralle, 2007, S. 274; Kiel, 2010, S. 784; Parchmann, Gräsel, Baer, Nentwig, Demuth, Ralle et al., 2006, S. 1046; Parchmann, Ralle & Di Fuccia, 2008, S. 14 ff.; Reinmann & Mandl, 2006, S. 616 ff., 626 ff., 638 ff.).

Bei uns wurden erst reichlich später als im anglo-amerikanischen Raum, Ende der 1990er- bzw. Anfang der 2000er-Jahre (vgl. Parchmann et al., 2011, S. 260 ff.; Reitinger, 2013, S. 67; Schwartz, 2006, S. 981, 984), mathematik- und naturwissenschaftsdidaktische Kontext-Programme ins Leben gerufen. Dazu gehören *bik*⁵⁶ (vgl. Bayrhuber, Bögeholz, Elster, Hammann, Hößle, Lücken et al., 2007), *Chemie fürs Leben* (vgl. Flint, 2014, S. 58), *CHiK*⁵⁷ (vgl. Demuth, Gräsel, Parchmann & Ralle, 2008; Di Fuccia, Schellenbach-Zell & Ralle, 2007; Parchmann, Gräsel, Baer, Nentwig, Demuth, Ralle, 2006, S. 1042 ff.; Parchmann, Ralle & Di Fuccia, 2008, S. 9 ff.), *piko*⁵⁸ (vgl. Mikelskis-Seifert & Duit, 2007) und *Weiterentwicklung der Aufgabenkultur im Mathematikunterricht* (vgl. Blum & Wiegand, 2000; Stäudel, 2014, S. 13).

Das Konzept der *Naturwissenschaften im Kontext*-Projekte *bik*, *CHiK* und *piko* basiert auf drei Säulen (vgl. Parchmann, Ralle & Di Fuccia, 2008, S. 12 ff.): neben der *Kontextorientierung* und der Ausarbeitung zentraler naturwissenschaftlicher *Basiskonzepte* (vgl. Bayrhuber, Bögeholz, Elster et al., 2007, S. 283; Beyer, 2006; Lunetta et al., 2007, S. 420; Pilot & Bulte, 2006, S. 1097) spielen v. a. fachgemäße *Erkenntnis-* und sonstige *Arbeitsmethoden* eine bedeutende Rolle – darunter auch das Experimentieren (vgl. Mikelskis-Seifert & Duit, 2007, S. 267; Parchmann, Bernholt, Christiansen, Fach, Freienberg, Kandt et al., 2008, S. 156; Parchmann, Ralle & Di Fuccia, 2008, S. 22, 30). Hier zeigt sich wiederum der in den Abschnitten 4.9.4 und 4.9.5 dargestellte Zusammenhang zwischen Forschendem und Problem-

⁵⁶ „Biologie im Kontext“

⁵⁷ „Chemie im Kontext“

⁵⁸ „Physik im Kontext“

orientiertem Lernen auf der einen Seite sowie dem Kontextbezug als deren gemeinsamem Charakteristikum auf der anderen Seite.

Die Kontextorientierung wird implizit auch in aktuellen *Bildungsplänen* gefordert (vgl. van Vorst et al., 2015, S. 29) – so etwa im baden-württembergischen Bildungsplan für Realschulen von 2004 (MKJS, 2004, S. 96), der in den kommenden Jahren ausläuft. Dies lässt sich beispielsweise an den folgenden dort aufgeführten Kompetenzen erkennen: „naturwissenschaftliches Wissen anwenden, naturwissenschaftliche Fragen erkennen und aus Belegen Schlussfolgerungen ziehen, um Entscheidungen zu verstehen und zu treffen, die die natürliche Welt und die durch menschliches Handeln an ihr vorgenommenen Veränderungen betreffen“. Diese Fähigkeiten, Kenntnisse und Fertigkeiten sollen einen naturwissenschaftlichen Beitrag zum „Verständnis unserer Kultur und Lebensweise“ leisten (ebd.). Auch die Perspektive der naturwissenschaftlichen (Grund-) Bildung (vgl. KMK, 2005 a, S. 6), z. B. im Hinblick auf die „Welterschließung“, erfordert die Gestaltung von Lernumgebungen mit Lebensweltbezug, Anwendung von Naturwissenschaften im Alltag und in diversen gesellschaftlichen Bereichen. Was den Kompetenzbereich *Bewertung* betrifft, ist in den Ausführungen der Kultusministerkonferenz (KMK, 2005 a, S. 12) sogar explizit davon die Rede, dass entsprechende Bildungsstandards „in verschiedenen Kontexten“ umzusetzen seien. Dort werden konkrete Anwendungsbeispiele benannt und auch die Standpunkte von Menschen angesprochen – dies ist ausschließlich im kontextbasierten Unterricht möglich (vgl. auch Bayrhuber, Bögeholz, Eggert et al., 2007, S. 308 f.). Ziel- und Interessenskonflikte zu erkennen, mögliche Folgen von Entscheidungen zu antizipieren und selbst begründete Entscheidungen zu treffen, kann folglich v. a. in authentischen, lebensnahen Problemfeldern geübt werden⁵⁹ (vgl. Gräber & Nentwig, 2002, S. 12). Abschnitt 4.9.6.4 befasst sich ausführlicher mit dieser Verbindung der vier Kompetenzbereiche des Bildungsplans (vgl. KMK, 2005 a, S. 6 ff.).

4.9.6.3 Vorteile kontextorientierten Lernens

„Da Wissen kontextgebunden ist, sollten Lernsituationen möglichst ähnlich zu ihren Anwendungssituationen gestaltet werden.“
(Marsch, Hartwig & Krüger, 2009, S. 122)

In diesem Abschnitt wird dargelegt, weshalb und inwiefern „[...] die Einbettung [von Lerninhalten und Kompetenzen] in sinnvolle Kontexte und die Anwendung von erworbenem

⁵⁹ vgl. die Überlegungen zum Lernkontext „Nutzungskonflikt“ im Treatment EXP der eigenen Interventionsstudie (s. Abschnitt 6.3.3.5)

Wissen durch die Lernenden“ (Labudde & Möller, 2012, S. 19) von vielen Fachdidaktikern als lernförderliche Merkmale von Forschendem Lernen angesehen werden (vgl. Hammann, 2006a, S. 92; Schleiff, 2016, S. 219). Die Stärken und Vorteile kontextbezogenen Lernens können lernpsychologisch bzw. didaktisch begründet werden.

In einschlägigen Publikationen werden mit kontextbasiertem Lernen bestimmte *Unterrichtsprinzipien* untrennbar verbunden: Anwendungsorientierung, Alltags- bzw. Lebensweltbezug (vgl. Kuhn, 2003, S. 12 (62)), Problemorientierung (vgl. Mandl & Kopp, 2003, S. 81; Martius et al., 2016, S. 226), Anknüpfen an Vorwissen, vernetzendes Denken und Strukturieren von Wissens-elementen, systematische Kompetenzförderung sowie sinnstiftendes, bedeutungsvolles Lernen (vgl. Schmiemann et al., 2011; Renkl, 2010, S. 745). Die Prinzipien der Situations-, Praxis- und Anwendungsorientierung im Rahmen alltagsorientierten Unterrichts (vgl. Labudde & Möller, 2012, S. 16; Pfeifer, Lutz & Bader, 2002, S. 56, 407) sind in der Allgemeinen bzw. auch Fachdidaktik allerdings nichts grundlegend Neues. Gleiches gilt auch für andere Prinzipien schülerorientierten Unterrichts wie das Anknüpfen „an das Vorwissen und den Alltagserfahrungen“ sowie den „Entwicklungsstand der Schüler“ (Bayrhuber, Bögeholz, Elster et al., 2007, S. 282 f.). Werden diese Unterrichtsprinzipien bei der Unterrichtsgestaltung berücksichtigt, ergeben sich diverse positive Effekte, die es hier zu benennen gilt. So verknüpfen Fachdidaktiker mit Kontexten hinsichtlich der Kompetenzförderung v. a. folgende *Funktionen* (vgl. Kauertz & Fischer, 2009, S. 673; van Vorst, 2013, S. 28 f.):

- (a) Steigerung von intrinsischer *Motivation* und *Interesse* (vgl. Elster, 2010, S. 50);
- (b) Anknüpfen an *Vorerfahrungen* in der Einstiegs- und Erarbeitungsphase;
- (c) Aufzeigen des *Lebensweltbezugs* von fachlichen Kompetenzen;
- (d) *Anwenden und Übertragen* von Kompetenzen *in neuen Zusammenhängen* in Übungs-, Wiederholungs-, und Vertiefungsphasen;
- (e) *Überprüfung des Verständnisses* und der Performanz von Kompetenzen in Lernstandserhebungen;
- (f) Beitrag zur *Scientific Literacy* i. S. von verantwortungsbewusster *Mündigkeit und Eigenständigkeit bei Entscheidungen und Handlungen* (vgl. Bulte, Westbroek, de Jong & Pilot, 2006, S. 1077; Eilks, 2011, S. 48; Parchmann, Ralle & Di Fuccia, 2008, S. 18; Sadler, 2004, S. 533; van Vorst et al., 2015, S. 30, 35).

Einige dieser sowie weitere Funktionen werden nun etwas näher betrachtet.

„Kompetenzorientierung bedeutet [...], Wissen und Können so zu vermitteln, dass keine ‚trägen‘ und isolierten Kenntnisse und Fähigkeiten entstehen, sondern anwendungsfähiges Wissen und ganzheitliches Können, das z. B. reflektive und selbstregulative Prozesse einschließt“.

(Klieme & Hartig, 2008, S. 13)

Inwiefern spielen Kontexte eine besondere Rolle bei der *Kompetenzförderung*? Wie in den Abschnitten 1.1 (s. Tabelle 1-1) und 3.3.2.1 ausgeführt beinhaltet der Kompetenzbegriff von Weinert (2002) einen starken Kontextbezug (vgl. Klieme & Hartig, 2006, S. 17): Kompetenzen ermöglichen, „komplexe Anforderungen in bestimmten Zusammenhängen (Kontexten) zu bewältigen, auf der Grundlage von Kenntnissen, Fertigkeiten [, Fähigkeiten], Einstellungen und Haltungen“ (Langlet, 2008, S. 39; vgl. auch Lücken, 2008, S. 1). Der Aufbau von Kompetenzen, also auch von wissenschaftsmethodischen experimentellen Fähigkeiten, ist anforderungsspezifisch (vgl. Hartig & Klieme, 2006, S. 129 f.; Klieme & Hartig, 2008, S. 17; Steiner, 2006, S. 195). Lernen ist daher situativ gebunden und zuallererst einmal kontext- und domänenspezifisch (vgl. Kiel, 2010, S. 777, Mietzel, 2007, S. 50; Renkl, 2010, S. 737; Steiner, 2006, S. 195). Auch die Elaboration der experimentell gewonnenen Erkenntnisse im Sinne horizontalen Transfers (vgl. Meyer, 2007, S. 203) gelingt allein kontextualisiert: wie bedeutsam sind die betreffenden Kenntnisse im Alltag, wo können sie angewendet werden, welche künftigen Herausforderungen kann man damit bewältigen, welches sind historische Vorläufer gewesen (vgl. Muckenfuß, 1995, S. 343)? Werden entsprechende Kompetenzen und Schlüsselqualifikationen in konkreten *authentischen Handlungssituationen* geschult und eingesetzt, so erhöht dies die Wahrscheinlichkeit, dass auch alltagsnahe Probleme durch die Lernenden selbst gelöst werden können (vgl. Lutz & Pfeifer in Pfeifer et al., 2002, S. 57). *Situiertes Lernen*, *Anwendungsbezug* und der *Transfer in multiplen Kontexten* können somit helfen, *träges Wissen* zu vermeiden (vgl. Gräsel, 2000, S. 186 ff.; Gräsel & Parchmann, 2004 a, S. 171; Haag & Hopperdietzel, 2000, S. 481; Helmke, 2009, S. 69 ff., 307; Mandl & Kopp, 2005, S. 15; Marsch et al., 2009, S. 122; Parchmann et al., 2011, S. 263 f.; Parchmann, Ralle & Di Fuccia, 2008, S. 16).

An den Alltagserlebnissen und -vorstellungen der Lernenden anzuknüpfen, gelingt in kontextorientierten Lernumgebungen besser als in rein fachsystematisch gestalteten (vgl. Hmelo-Silver, Nagarajan & Day, 2002, S. 220). Ralle (2007, S. 259) betont, dass die *Behaltensleistung* angesichts entsprechend aufgebauten Wissens nachhaltiger sein kann, als bei zwar fachsystematisch-theoretisch, jedoch zusammenhanglos und ohne Lebensweltbezug erarbeiteten Kenntnissen und Fähigkeiten.

„A key aim of these approaches is to stimulate young people's interest in science and to help them to see how it relates to their everyday lives.“

(Bennett, Hogarth & Lubben, 2003, o. S.)

Nicht selten sind konkreter Lernstoff und Unterrichtsmethodik wenig interessant und wirken sich negativ auf die *Lernmotivation* aus (vgl. Löwe, 1987, S. 62). Ziehen Lehrkräfte zur Erarbeitung und Förderung experimenteller Kompetenzen interessante(re) Lernkontexte heran, so ist davon auszugehen, dass dies den Kompetenzerwerb eher begünstigt (vgl. Möller, 2008, S. 279). So kann beispielsweise die Interessantheit ökologischer Themen durch Einbettung in den Kontext „Naturschutz“ bei vielen Heranwachsenden gesteigert werden (vgl. Meyer-Ahrens, Meyer, Witt & Wilde, 2014). Lebensweltbezogenen, schüler- und anwendungsorientierten Lernkontexten wird vor diesem Hintergrund ein maßgeblicher Einfluss auf die situationalen Zufriedenheit und Lernmotivation zugesprochen (vgl. Möller, 2008, S. 279). Dies stellt eine gute Voraussetzung für die Genese längerfristigen Interesses dar (vgl. Merzlyn, 2008, S. 38 f.; Prenzel, Artelt et al., 2007 b, S. 8; Vogt, Upmeyer zu Belzen, Schröer & Hoek, 1999, S. 76). Positive Effekte kontextualisierten Lernens auf Motivation, Wertschätzung des Naturwissenschaftsunterrichts und Interessantheit wurden in diversen Studien mehrheitlich beobachtet (vgl. Bennett et al., 2003, o. S.; Bennett et al., 2006, S. 363; Demuth et al., 2008, S. 6; Di Fuccia, Schellenbach-Zell & Ralle, 2007, S. 279; Eilks, 2011, S. 57; Mikelskis-Seifert & Duit, 2007, S. 273; Parchmann, Ralle & Di Fuccia, 2008, S. 31; van Vorst, 2013, S. 32 ff., 131). Mädchen sind durch die Lebensweltorientierung und gesellschaftliche bzw. auch ethische Relevanz sowie die Nützlichkeit von Themen bzw. Kompetenzen in besonderem Maße zu motivieren (vgl. Belenky et al., 1986 a, S. 200 ff.; Berck, 2005, S. 85; Hannover, 1992, S. 43; Labudde & Möller, 2012, S. 23; Lembens & Bartosch, 2012, S. 88 f.; Pfeifer et al., 2002, S. 407; Meyer-Ahrens, Meyer, Witt & Wilde, 2014, S. 235 ff.; Möller, 2008, S. 267; Roth, 2009, S. 62; Urhahne, 2008, S. 154; Wodzinski, 2009, S. 590 f.). Bennett et al. (2006, S. 364) weisen auf Befunde hin, denen zufolge die Interessensunterschiede zwischen Mädchen und Jungen durch Kontextorientierung reduziert werden können. Dies ist v. a. in Naturwissenschaften mit geschlechtsspezifischen Interessensunterschieden wie Biologie oder Physik von Bedeutung. Die Behandlung von Kontexten, die Zusammenhänge von Naturwissenschaften und Technologie mit gesellschaftlichen und persönlichen Belangen betreffen (vgl. Abschnitte 4.9.6.2, 4.9.6.3 und 4.9.6.5), besitzt besonders hohes Potential, Lernende zu motivieren (vgl. Lewis, 2000, S. 118; Wodzinski, 2009, S. 600 ff.): Die Kontexte erscheinen den Lernenden als relevant und sinnstiftend (vgl. Gräsel, 2000, S. 189; Muckenfuß, 1995, S. 340; van Vorst, 2013, S. 38 f.). Dadurch führen sie den Lernenden den „Gebrauchswert des Unterrichts“ (Merzlyn, 2008, S. 43 ff.) vor Augen. Wenn die Kontexte zudem als interessant erfahren werden, verhelpen sie laut der Studie von Khishfe und Abd-El-Khalick (2002, S. 574) Lernenden zum einfa-

cheren Erwerb angemessener *Nature of Science*-Vorstellungen.

Welche empirischen Befunde liegen zur Beeinflussung der *Förderung von Fähigkeiten, Fertigkeiten, Kenntnissen und Einstellungen* in den vier *Kompetenzbereichen* der Bildungsstandards (vgl. KMK, 2005 a) durch die Kontextbasierung von Unterricht vor?

Empirische Studien belegen, dass kontextualisierte Lernumgebungen in der Regel keinen negativen, jedoch in manchen Fällen sogar einen günstigen Einfluss auf den Erwerb von *Fachwissen* ausüben (vgl. Bennett, Hogarth & Lubben, 2003, o. S.; van Vorst, 2013, S. 31 f., s. auch Parchmann et al., 2006, S. 1059). Dies erscheint plausibel: Aus lernpsychologischer Sicht geschieht Lernen situativ. Konkrete authentische Bedingungen helfen Lernenden somit besser, Kompetenzen nachhaltig und anwendungsfähig aufzubauen (vgl. Mietzel, 2007, S. 50 f., 102 f., 135). Die Reviewstudie von Bennett et al. (2006, S. 357) kommt allerdings zu dem Ergebnis, dass das Erlernen naturwissenschaftlichen Wissens in den meisten Fällen nicht stärker begünstigt wurde als in Vergleichsgruppen. Angesichts des höheren Anwendungsbezugs überrascht es nicht wirklich, dass Lernende aus den Treatmentgruppen mancher Interventionsstudien Wissen nicht nur reproduzieren, sondern z. T. besser als in Kontrollgruppen reorganisieren und in Kontextbezügen anwenden können (vgl. Bennett et al., 2006, S. 362; van Vorst, 2013, S. 31 f.). In manchen anderen Studien war allerdings kein Unterschied zwischen den Experimentalbedingungen zu beobachten (vgl. van Vorst, 2013, S. 31 f.). Dies zeigt, dass der Kontextbezug isoliert betrachtet nicht per se positive oder negative Effekte verursacht.

Was den Aufbau von Fähigkeiten im Bereich *Erkenntnisgewinnung* betrifft, so fand Grube (2010, S. 85) in ihrer Studie, dass die bloße Teilnahme an *Biologie im Kontext*-Unterricht nicht zu einem größeren Kompetenzzuwachs im Bereich (natur-)wissenschaftlichen Denkens führt. Diesen positiven Effekt konnte man lediglich in jenen Lerngruppen beobachten, wo die Lehrpersonen gezielt kompetenzorientiert unterrichteten, allerdings ist der Effekt mit $d = .32$ relativ schwach ausgeprägt (vgl. ebd., S. 86). Dies wirft die Frage auf, ob der Effekt größer ausfallen könnte, wenn der Unterricht nicht in *dem* Maße kontextbasiert gestaltet worden wäre: es würde mehr Zeit für die Förderung von Kompetenzen zur Erkenntnisgewinnung bereit stehen, und die kognitive Belastung infolge von Kontextmerkmalen wäre geringer (s. Abschnitt 7.5.2). Ganser und Hammann (2009 b) fanden in ihrem Forschungsprojekt, dass sich die tatsächliche Performanz in wissenschaftsmethodischen Kompetenzen nicht signifikant von jener der Kontrollgruppe unterschied. Die Selbstwirksamkeitserwartung der Probanden lag allerdings in der Treatmentgruppe über jener der Kontrollgruppe, bei der jedoch nicht gezielt bestimmte experimentelle Kompetenzen gefördert werden sollten. Eine Steigerung des kriterialen Selbstkonzepts ist auch ohne damit einhergehenden messbaren Performanzzuwachs grundsätzlich zu begrüßen (vgl. Abschnitt 4.7.4).

In Zusammenhang mit Bildungsstandards des Kompetenzbereiches *Bewertung* können experimentell gewonnene Befunde in authentischen Kontexten Lernenden dazu dienen, „Lösungsansätze zu [hinterfragen bzw. zu] entwickeln und unter Rückbezug auf relevante Werte und Normen zu bewerten, um tragfähige, nachhaltige Entscheidungen treffen zu können“ (Bögeholz, 2011, S. 32).

Unterricht, der authentische, lebensweltbezogene Problemstellungen thematisiert, unterstützt Lernende dabei, Lösungen für Herausforderungen mit Naturwissenschaftsbezug zu erarbeiten. Ein wichtiges Ziel solcher Lernumgebungen kann sein, dass die Lernenden „Informationen zu biologischen Fragestellungen aus verschiedenen Quellen zielgerichtet“ auswerten (KMK, 2005 a, S. 15), „sach- und adressatengerecht argumentieren und debattieren sowie Lösungsvorschläge begründen“ üben (KMK, 2005 a, S. 18) sowie Befunde veranschaulichen und anderen präsentieren. Somit eignen sich Lernkontexte auch ausgezeichnet, um den Kompetenzbereich *Kommunikation* zu berücksichtigen.

Was begünstigt die positiven Wirkungen kontextbasierten Lehrens und Lernens? Vertreter des ‚gemäßigten Konstruktivismus‘ (vgl. Kiel, 2010, S. 184; Mietzel, 2007, S. 45 f., 50 f.; Steiner, 2006, S. 195 ff.) betonen, wie bedeutsam vorbereitete Lernumgebungen mit instruktionaler Unterstützung sind, um Kompetenzen hinsichtlich eines Transfers in anderen Situationen zu abstrahieren und zu dekontextualisieren (vgl. Gräsel & Parchmann, 2004 a, S. 174). *Multiple Kontexte und Perspektiven* (vgl. Reinmann & Mandl, 2006, S. 640 f.) können dabei helfen, die Anwendung von Kompetenzen zu flexibilisieren, was der Problemlösung v. a. in komplexeren Domänen zugutekommt (vgl. Renkl, 2010, S. 743; Stark et al., 1995, S. 291, 293 f.; Stäudel, 2014, S. 81; Steiner, 2006, S. 197 f.). Wie bedeutsam sowohl multiple Kontexte und Perspektiven als auch tutorielle Hilfe für den Aufbau von Handlungskompetenz und Problemlösen sind, konnten u. a. Stark et al. (1995, S. 300 f.) zeigen.

Ein weiterer Vorteil intensiven Kontextbezugs betrifft die *Planung von Unterrichtseinheiten* bzw. sogar von *Curricula*: sie „erfordert eine konsistente durchgängige *Strukturierung* der zentralen Unterrichtselemente wie Lernmodule, Methoden, Medien, Aufgaben oder Experimente, die über eine Segmentierung und Sequenzierung einzelner Unterrichtsstunden hinausgeht“ (Nawrath & Komorek, 2013, S. 236). Dies ist besonders dann der Fall, wenn es sich nicht nur um einen *fachsystematisch-kontextorientierten*, sondern sogar um einen *kontextstrukturierten Unterricht* handelt (vgl. ebd., S. 240). Bewusst ausgesuchte (vgl. Di Fuccia & Ralle, 2010, S. 301) bzw. didaktisch gestaltete Kontexte können demnach „als durchgängiger Leitfaden für eine Unterrichtssequenz“ (Di Fuccia & Ralle, 2010, S. 299; vgl. auch Di Fuccia, Schellenbach-Zell & Ralle, 2007, S. 274) fungieren. Diese „lernförderliche [situationale] Strukturierung“ (Gropengießer & Kattmann, 2013, S. 23), erleichtert die *Didaktische Rekonstruktion* von Wis-

senselementen und die sinnstiftende Anwendung prozessbezogener Kompetenzen (vgl. auch Bulte, Westbroek, de Jong & Pilot, 2006, S. 1063 f.). Ein solcher roter Faden verdeutlicht den Lernenden überdies den *kumulativen Kompetenzaufbau* (vgl. Bayrhuber, Bögeholz, Elster et al., 2007, S. 284) bei späterer Bezugnahme und Anwendung von bereits Gelerntem.

Nawrath und Komorek (2013, S. 241) sprechen sich tendenziell eher für den kontextstrukturierten Naturwissenschaftsunterricht aus, der stärker in authentische Kontexte eingebettet ist als fachsystematisch-kontextorientierter Naturwissenschaftsunterricht: „wie eigene Erfahrungen [...] zeigen [...], ist das Interesse von Schülerinnen und Schülern hoch, wenn Kontexte nicht lediglich als Auftakt eines dann doch fachsystematischen Unterrichts dienen und wenn Unterrichtsergebnisse gesichert werden, um sie für weiteres, vielfältiges Lernen zu nutzen. Auch aus einer normativen Perspektive lässt sich für den kontextstrukturierten [...]unterricht plädieren, denn Schülerinnen und Schüler sind für die gesellschaftlich zu lösenden Probleme ([...] [z. B.] nachhaltige Entwicklungen [sic] etc.) zu befähigen, die per se komplex sind und einen Kontext für das naturwissenschaftliche Lernen darstellen“.

4.9.6.4 Kontextorientierung als Chance für die Vernetzung von Kompetenzbereichen

„Für einen erfolgreichen Einsatz von Experimenten im Kontextunterricht ist es [...] bedeutsam, dass die Experimente eine möglichst enge Bindung an den jeweiligen Kontext aufweisen.“
(Parchmann, Bernholt, Christiansen, Fach, Freienberg, Kandt et al., 2008, S. 168)

Manche Autoren sprechen kontextbasierten Lernumgebungen eine für die Förderung naturwissenschaftlicher Grundbildung besonders umfassende Wirkung zu (vgl. Bennett et al., 2006, S. 349): In authentische Kontexte eingebettetes Forschendes Lernen vermag neben den Kompetenzbereichen *Fachwissen* – als unverzichtbarer Lerngrundlage – und *Erkenntnisgewinnung* (vgl. Bayrhuber, Bögeholz, Elster et al., 2007, S. 284) auch hervorragend *Kommunikation* und *Bewertung* (vgl. ebd., S. 285; KMK, 2005 a, S. 6 ff.) zu berücksichtigen (vgl. auch Eilks, 2011, S. 47; Lücken, 2008, S. 3 ff.; Nawrath & Komorek, 2013, S. 249; Parchmann, Bernholt, Christiansen, Fach, Freienberg, Kandt et al., 2008, S. 154 ff.; Parchmann, Ralle & Di Fuccia, 2008, S. 22 f., 25 f.; Reitinger, 2013, S. 87; Schlieker, 2012, S. 43, 49 ff.). Dies beleuchtet der vorliegende Abschnitt ausführlicher.

Eine *Vernetzung der Kompetenzbereiche* ist prinzipiell auch ohne expliziten Kontextbezug möglich. Lebensweltliche Bezüge führen nach Ansicht des Verfassers jedoch stärker vor Au-

gen, welche Bedeutung einem gründlich und systematisch geplanten, aussagekräftig durchgeführten und adäquat ausgewerteten Experiment als gute Urteils- bzw. Entscheidungsgrundlage (vgl. Sprenger & Otto, 2014) zukommt. Kontextbezug kann überdies die Plausibilität der zu erarbeitenden fachlichen Vorstellung untermauern (vgl. Schroedter & Körner, 2015, S. 301). Bezüge zur Lebenswelt und Anwendungsorientierung können den Lernenden Impulse geben, ein angemesseneres *Nature of Science*-Verständnis zu entwickeln (vgl. Millar, 2005, S. 335 ff.). Dabei kommt es entscheidend auf das „Nachdenken über naturwissenschaftliche Methoden (Methodologie), die Wertvorstellungen einer Forschergemeinschaft, die zur Entwicklung wissenschaftlichen Wissens führt, eine Reflexion über den erkenntnistheoretischen Status naturwissenschaftlichen Wissens sowie kulturelle und soziale Verflechtungen sowohl des wissenschaftlichen Wissens als auch des Wissensbetriebs selbst“ (Hofheinz, 2010, S. 8) an.

Unterricht gemäß den naturwissenschaftsdidaktischen Kontext-Ansätzen (vgl. Abschnitte 1.3 und 4.9.6.2) orientiert sich an vier zentralen *Lernphasen* (vgl. Di Fuccia & Ralle, 2010, S. 299; Di Fuccia, Schellenbach-Zell & Ralle, 2007, S. 274 f.; Parchmann, 2009, S. 80; Parchmann, Ralle & Di Fuccia, 2008, S. 26 ff.): erstens der *Begegnungsphase* (die eine Konfrontation mit Problemen und Phänomenen ermöglicht und der Aktivierung von Vorwissen dient), zweitens der *Neugier- und Planungsphase* (in der Fragen aufgeworfen und eine Problemlösung entwickelt wird; vgl. Chin & Chia, 2004, S. 708; Chin & Osborne, 2008, S. 7), drittens der *Erarbeitungsphase* (wobei in einer vorbereiteten, z. T. aber auch offenen Lernumgebung Lernaktivitäten, z. B. Schülerexperimente, zur Klärung von Fragen und Lösung von Problemen angewandt und Ergebnisse vorgestellt werden) und viertens der *Vernetzungs- und Vertiefungsphase* (s. auch Abbildung 4-3). Die letzte Phase spielt eine entscheidende Rolle im Hinblick auf die Abstraktion, Dekontextualisierung und Elaboration, z. B. bezüglich tangierter Basis-konzepte. Hierbei kommt es darauf an, Erlerntes „auf neue Situationen“ (Mietzel, 2007, S. 188) zu übertragen und dort anzuwenden.

Auf diese Weise sollen Allgemeingültiges herausgearbeitet und Transferleistungen begünstigt werden (vgl. Funke & Zumbach, 2006, S. 211; Gilbert, 2006, S. 959; Keselman, 2003, S. 901; Minstrell & van Zee, 2000, S. xviii).

Abbildung 4-3 (nach Parchmann, 2009, S. 81 sowie Parchmann, Bernholt, Christiansen, Fach, Freienberg, Kandt et al., 2008, S. 154; verändert) veranschaulicht, welche experimentellen Schritte in welchen Unterrichtsphasen mit welchen Kompetenzbereichen assoziierbar sind, die alle zum „nachhaltigen systematischen Wissensaufbau“ (Ralle, 2007, S. 259) beitragen sollen.

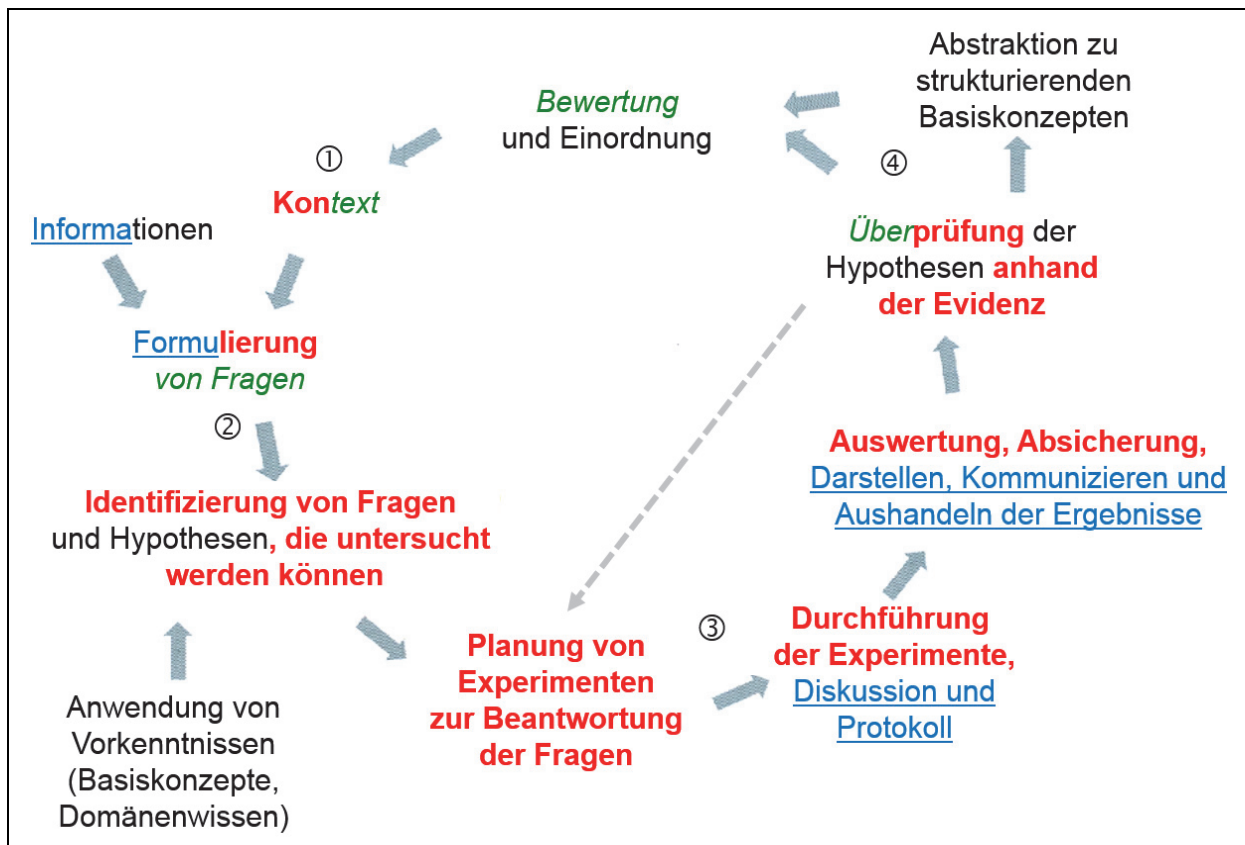


Abb. 4-3. Phasen und Elemente kontextbasierten Forschenden Lernens

Anmerkungen. Kennzeichnung der Kompetenzbereiche (KB) (vgl. KMK, 2005 a): KB Fachwissen (schwarz, normal); KB **Erkenntnisgewinnung** (rot, fett); KB Kommunikation (blau, unterstrichen); KB *Bewertung* (grün, kursiv). Bedeutung der Ordnungszahlen: ① - Begegnungsphase; ② - Neugier- und Planungsphase; ③ - Erarbeitungsphase; ④ - Vertiefungs- und Vernetzungsphase (vgl. Parchmann, 2009, S. 80). Sind Teile von Wörtern unterschiedlich formatiert, so können entsprechende Schritte mehr als einem Kompetenzbereich zugeordnet werden. Der gestrichelte Pfeil deutet an, dass ein Forschungszyklus u. U. mehr als einmal durchlaufen wird, wenn beispielsweise Hypothesen verfeinert oder revidiert bzw. wenn aufgrund methodologisch fehlerhafter Vorgehensweise weitere Experimente zu planen und durchzuführen sind.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich die positive Wirkung kontextbasierten Lernens auf der Seite der Lernenden meistens v. a. im affektiven Bereich manifestiert. Im Sinne des Kompetenzbegriffs von Weinert (2002, S. 27 f.; s. Abschnitt 1.1) bewährt sich dieser Ansatz also durchaus in Zusammenhang mit Kompetenzförderung, umfassen Kompetenzen doch auch die „motivationalen, volitionalen [...] Bereitschaften [...], um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“ (vgl. auch Abschnitte 1.1 und 3.3, Abb. 3-2).

4.9.6.5 Favorisierte Kontexte zum Aufbau eines adäquaten NOS-Verständnisses

„Welche Kontexte haben sich bewährt oder scheinen interessant und bedeutsam?“

(Parchmann, Ralle & Di Fuccia, 2008, S. 25)

Eilks (2011, S. 58) stellt zurecht die Frage, welche Kontexte sich mit Blick auf die Lerneffekte besonders gut eignen: „[...] die Erfahrungen stärker Kontext-orientierter Curricula in verschiedenen Ländern [erscheinen] überwiegend positiv [...], beim Blick auf Details in den Curricula muss aber schon die Frage erlaubt sein, welche Kontexte sind die wirklich guten Kontexte. Welche Kontexte wirken besonders positiv auf die Schülermotivation oder die Nachhaltigkeit des Gelernten?“. Dies ist erst recht zu klären, wenn nicht (ausschließlich) Fachwissen, sondern (auch) experimentelle Kompetenzen gefördert werden sollen.

Zentrale Merkmale, hinsichtlich derer sich lebensweltliche Kontexte unterscheiden können (vgl. van Vorst et al., 2015, S. 32), sind die von Lernenden subjektiv wahrgenommene Relevanz (vgl. Eilks, 2011, S. 48), die Authentizität, das Maß an Alltagsbezug, der Aktualitätsgrad, die Art der Besonderheit und die Komplexität des Kontexts (vgl. van Vorst, 2013, S. 37 ff.). Diese *Kontext-Dimensionen* begünstigen oder beeinträchtigen die Effekte kontextbasierter Lernumgebungen – so z. B. das konkrete Kontextthemenfeld (vgl. Meyer-Ahrens, Meyer, Witt & Wilde, 2014; van Vorst, 2013, S. 35 f.) und die Ausprägung der genannten Kontextmerkmale. Beispielsweise beobachtete van Vorst (2013, S. 133 ff.), dass verschiedene Kontext-Dimensionen nicht in gleichem Maß motivieren. Positiv wird die Lernmotivation v. a. durch die Besonderheit des Kontextes beeinflusst und weniger durch dessen Alltagsbezug; die Aktualität erwies sich dabei als wenig bedeutsam. Dies überrascht angesichts der Erkenntnisse der Interessenforschung nicht, der zufolge „Sensation, Neuigkeit oder Überraschung Aufmerksamkeit erzeugt und zu situativer Interessiertheit führt“ (Kattmann, 2000, S. 19).

Den *Aktualitätsgrad von Lernkontexten* gilt es, etwas näher zu betrachten: Prinzipiell können aktuelle, also kontemporäre, Phänomene und Probleme (vgl. Sadler, 2004, S. 515; Sadler, 2011, S. 11) im Forschenden Lernen experimentell untersucht werden. Oder es können historische Sachverhalte und wissenschaftshistorische Aspekte Lerngegenstand sein. In beiden Fällen lässt sich kontextbasiertes Lernen verwirklichen. Auch beim *historisch-(problem)orientierten* bzw. *historisch-genetischen Unterrichtsverfahren* (vgl. Henke, 2016; Jank & Meyer, 2009, S. 311; Jansen und Matuschek-Wilken in Pfeifer et al., 2002, S. 211 ff.; Schmidkuntz & Lindemann, 2003, S. 20) kann man – ebenfalls unter Berücksichtigung des Prinzips konstruktiv-genetischen Lernens (vgl. Jank & Meyer, 2009, S. 311; Möller, Jonen, Hardy & Stern, 2002, S. 177) – den historischen Entstehungszusammenhang (vgl. Schaake, 2010, S. 56) und Forschendes Lernen miteinander verbinden. Einige Aspekte des *Nature of Science*-Verständnisses sind hier sehr gut und sogar besser als beim Forschenden Lernen zu thematisieren (vgl. Henke, 2016; Sadler, 2004, S. 523 f.), wie die Zusammenhänge zwischen Gesellschaft und Naturwissenschaften, Herkunft und Sicherheit naturwissenschaftlicher Erkenntnis, die Bedeutung von (eigener) Kreativität beim experimentellen Problemlösen sowie der Bezug von Theorie und Empirie (s. auch Abschnitt 4.9.1; vgl. Jansen & Matuschek-Wilken

in Pfeifer et al., 2002, S. 212 f.).

„*Students would conduct independent investigations and learn to apply the methods of science to problems of personal and societal concern*“.
(Deboer, 2006, S. 30)

Fachliche Lerninhalte in Kontexte einzubetten, die Zusammenhänge zwischen Naturwissenschaften und Alltagsleben mit Belangen aus Ökonomie, Politik, Kultur und Geisteswissenschaften aufzeigen (vgl. Parchmann, 2010, S. 27; Schleiff, 2016, S. 219), erscheint als eine besonders bewährte Möglichkeit, Heranwachsende durch Naturwissenschaftsunterricht auf die mündige, aktive und verantwortungsbewusste Teilhabe am gesellschaftlichen Leben vorzubereiten (vgl. Sadler, 2011, S. 6). Diese Verbindungen können z. B. naturwissenschaftlich assoziierte Technologien und deren Anwendungen bzw. Folgen im Zusammenhang mit unserer Gesellschaft und Umwelt betreffen. Man bezeichnet solche Kontexte als *science-technology-society (STS)-Kontexte* (vgl. Bennett, Lubben & Hogarth, 2006, S. 347; Deboer, 2006, S. 30; Gilbert, 2006, S. 967; Nawrath & Komorek, 2013, S. 237 f.; Strobl, 2008 a, S. 40; van Vorst et al., 2015, S. 31). Daneben gibt es noch *science-technology-society-environment (STSE)-* und *socio-scientific issues (SSI)-Kontexte*, bei denen zusätzlich Umweltbelange von Bedeutung sind bzw. Technologie keine wesentliche Rolle spielt (vgl. Sadler, 2011, S. 7). Im Mittelpunkt von *socio-scientific*-Kontexten steht meist ein kontrovers diskutierter (vgl. Eilks, 2011, S. 57) oder doch zumindest multiperspektivisch betrachtbarer Sachverhalt (vgl. Eilks, 2011, S. 50) an Schnittstellen von Naturwissenschaft und Gesellschaft (vgl. Bögeholz, 2013, S. 71). Solche Kontexte können zu einem elaborierteren Wissenschaftsverständnis beitragen (s. Abschnitte 1.2, 4.9.1 und 4.9.6.5 und Tab. 1-2; vgl. Kircher & Dittmer, 2004, S. 4; McGinn & Roth, 1999, S. 15 f.).

In diesem Zusammenhang spielen Fähigkeiten der Kompetenzbereiche *Kommunikation* und *Bewertung* eine entscheidende Rolle (s. Abschnitt 4.9.6.4; vgl. Duit & Mikelskis-Seifert, 2007, S. 5 (49); Sadler, 2004, S. 513 f.). Als Beispiele sind u. a. Umweltfragen wie der Klimawandel (Ursachen und Folgen), gesundheitliche Belange, Nachhaltige Entwicklung und energiepolitische Sachverhalte zu nennen (vgl. Bögeholz, 2013, S. 73; Eilks, 2011, S. 49, 53 ff.; Sadler, 2011, S. 9, 14). Lernende sollen in solchen Lernumgebungen die Möglichkeit erhalten, sich als aktiv teilhabende, reflektiert handelnde Mitglieder einer Gemeinschaft zu erleben (vgl. Eilks, 2011, S. 47; Sadler, 2011, S. 8 f.), für die es wichtig und sinnvoll ist, Naturwissenschaft zu lernen, zu wissen und – z. B. in Bewertungs- oder Beurteilungssituationen – anzuwenden (vgl. Bögeholz, 2013, S. 71, 74; Strobl, 2008 a, S. 40). Im Idealfall ermöglicht die Schule den Lernenden, im außerschulischen Bereich echte Praktika zu realisieren, die z. B.

den Kontakt zu echten Forschern, zu einer *Scientific Community* ermöglichen und reale Probleme betreffen (vgl. Schwartz & Crawford, 2006, S. 336 ff.). Echte Partizipation an Forschungsmaßnahmen kann z. B. im Rahmen von *Citizen Science*-Projekten erfolgen (vgl. <http://www.buergerschaffenwissen.de/>; abgerufen am 23.03.2016; Zizka, 2017) und ein echter Gewinn für Lernende und Wissenschaftler darstellen (vgl. Rettberg, 2014, S. 4, 6; Weitze, 2014, S. 12 ff.). Meist wird kontextbasiertes Lernen jedoch nicht in Realsituationen auf solch intensive Weise möglich sein.

Welche *Fähigkeiten* erfordern kontextbasierte, problemorientierte SSI-Lernumgebungen generell? Eine notwendige Kompetenz ist es, Daten zu sammeln und kritisch-sachgerecht zu prüfen (vgl. Sadler, 2004, S. 527 f.; Sadler, 2011, S. 9, 14). Dazu gehören neben der experimentellen Problemlösefähigkeit i. A. als Instrument für die Untersuchung von Ursache-Wirkungsbeziehungen auch *spezielle experimentelle Kompetenzen zur Beurteilung von Objektivität, Reliabilität und Validität*. Drei wichtige Ziele der i. d. R. fächerübergreifend und multiperspektivisch ausgerichteten SSI-Lernkontexte sind die Förderung von Bewertungskompetenz⁶⁰, die Schaffung eines Rahmens, in dem Lernende einen eigenen Standpunkte entwickeln können, und der Aufbau von Wertschätzung gegenüber den Naturwissenschaften und deren selbstständigen Anwendung in der Lebenswelt (vgl. Eilks, 2011, S. 51; Sadler, 2011, S. 9 f.). Auf diese Weise sollen Lernende die oftmals rezeptive Rolle zugunsten einer aktiveren Rolle aufgeben (vgl. Eilks, 2011, S. 57; Reitinger, 2013, S. 15). Dabei können sie komplexe Sachverhalte und Interdependenzen kooperativ erforschen sowie Urteils- und Entscheidungsfähigkeit erwerben (vgl. Deboer, 2006, S. 32; Eilks, 2011, S. 51 f.; Sadler, 2011, S. 10 f.). Das „Generieren und Reflektieren von Sachinformationen“ (Bögeholz, 2013, S. 75) kann in diesem Zusammenhang unmittelbar mit *experimenteller Problemlösefähigkeit* in Verbindung gebracht werden: Diese ermöglicht sowohl die eigenständige Erkenntnisgewinnung als auch im Idealfall die Reflexion und Beurteilung von in Medien berichteten experimentellen Befunden hinsichtlich deren Tragfähigkeit, Aussagekraft und Generalisierbarkeit.

Als logische Konsequenz dieser Zielsetzungen ergibt sich dank entsprechender Lernkontexte ein *didaktisch-methodischer Wandel*: die Schüler-, Handlungs- und Problemorientierung nehmen zu (vgl. Eilks, 2011, S. 47, 57; Parchmann, Ralle & Di Fuccia, 2008, S. 28), ebenso wird Unterricht stärker projektartig ausgerichtet, kooperative Lernformen sind häufiger zu beobachten (vgl. Sadler, 2011, S. 11). Methoden wie Rollen- und Planspiele sowie Debatten helfen (vgl. Deboer, 2006, S. 32; Hauenschild & Bolscho, 2005, S. 48), Perspektivenwechsel, Urteils- und Partizipationsfähigkeit zu schulen (vgl. Eilks, 2011, S. 52).

⁶⁰ z. B. systematisches Entscheiden „in Gestaltungsfragen Nachhaltiger Entwicklung“ sowie reflektierte „Urteilsbildung in bioethischen Fragestellungen“ (Bayhuber, Bögeholz, Elster et al., 2007, S. 285)

Im Vergleich zu Kontrollgruppen wurden in SSI-Kontexten u. a. folgende Kompetenzen stärker gefördert (vgl. Sadler, 2011, S. 11 f.): die Einsicht in Zusammenhänge zwischen Naturwissenschaften und dem sozio-kulturellen Bereich (vgl. Eilks, 2011, S. 50), die Fähigkeit, reflektiert zu beurteilen und zu argumentieren (vgl. Klafki, 1998, S. 246; Sadler, 2004, S. 522 ff.), sowie ethisches Gespür. Weitere beobachtbare positive Effekte des kontextbasierten Lernens sind die Bereitschaft, auch kritische Fragen zu stellen (vgl. Sadler, 2011, S. 14) – eine bedeutsame Intention im Hinblick auf Partizipationsfähigkeit und Mündigkeit – sowie Betroffenheit und Diskussionsfreude, die über den Unterricht hinausreichen (vgl. Eilks, 2011, S. 57; McGinn & Roth, 1999, S. 17).

4.8.6.6 Nachteile und Risiken kontextorientierten Lernens

Angesichts der vielen o. g. evidenzbasierten positiven Argumente erscheint kontextbasiertes Lernen hinsichtlich verschiedener Zieldimensionen prinzipiell besonders lernförderlich zu sein. Allerdings wurde bislang kaum untersucht, inwiefern Kontextmerkmale die Wirkung von Maßnahmen zur Förderung *experimenteller Problemlösefähigkeit* beeinflussen (vgl. Nehring, Nowak, Upmeyer zu Belzen & Tiemann, 2012, S. 253). Allgemein liegen aber Erkenntnisse zu einigen *Nachteilen und Risiken einer übermäßigen Kontextorientierung* von Naturwissenschaftsunterricht vor, die in diesem Abschnitt besprochen werden.

Der Kontextbezug von Lehr-Lernprozessen wurde und wird zum Teil noch heute in der Lehrerschaft und in der Naturwissenschaftsdidaktik nicht durchweg bzw. pauschal positiv eingeschätzt. Es gilt daher einerseits zu klären, welchen subjektiven Einschätzungen es an empirischen Belegen mangelt und andererseits, welche Nachteile durch Kontextorientierung gemäß Befunden der Unterrichtsforschung objektiv evident sind.

Grube (2010, S. 85 ff.) beobachtete wie in Abschnitt 4.9.6.3 bereits erwähnt, dass stärkerer Kontextbezug allein noch nicht zu einer relativ effektiveren Förderung wissenschaftlichen Denkens i. S. des Kompetenzstrukturmodells von Mayer (2007) und Mayer et al. (2008) (s. Abschnitt 3.3.2) führt. Eine Zunahme der Performanz entsprechender Kompetenzen hängt vielmehr stärker mit dem Ausmaß der Kompetenzorientierung im Unterricht zusammen.

Eine didaktische Herausforderung für Lehrkräfte resultiert aus dem Sachverhalt, dass Kompetenzen auf einen bestimmten Zusammenhang bezogen sind und dekontextualisiert werden müssen. Das heißt, die spezifische Anwendungssituation muss im Hinblick auf allgemeine Prinzipien und Konzepte reflektiert und so elaboriert werden, dass ein späterer Transfer auf

andere Kontexte ermöglicht wird (vgl. Nawrath & Komorek, 2013, S. 241). Diese *Dekontextualisierung* erfordert also Vertiefungs- und Übungsmöglichkeiten in *multiplen Kontexten* (vgl. van Vorst et al., 2015, S. 31), wie es der Ansatz problemorientierten Lernens vorsieht (vgl. Reinmann & Mandl, 2006, S. 640 f.). Lehrkräfte sehen insofern in den Folgen einer fehlenden Verallgemeinerung und Herausarbeitung allgemeiner Grundsätze eine *Gefahr kontextstrukturierenden Unterrichts* (vgl. Nawrath & Komorek, 2013, S. 248). Ralle (2007, S. 259) berichtet von Lehrkräften und MINT-Didaktikern, die eine regelrechte „Furcht vor dem Kontext“ entwickelt haben: Fachsystematisches Erlernen und Verständnis von Theorien, Begriffen und Prinzipien käme in solchen Lernumgebungen zu kurz, Lernende würden überfordert, strukturierter Wissenserwerb würde erschwert (vgl. auch Nawrath und Komorek, 2013, S. 247); für Lehrkräfte entstehe angesichts von Zeitmangel durch zahlreiche Bildungsstandards (vgl. MKJS, 2016 c) und aufwändiger Vorbereitung hohe Belastung (vgl. ebd., S. 249, 252). Stäudel (2014) bringt diesen Aspekt anschaulich auf den Punkt:

„Übrigens: Allzu ausufernd sollten Kontextstories für Aufgaben nicht sein. Sobald es mehr Mühe macht, die eigentliche Fragestellung überhaupt erst herauszuarbeiten als sie zu bearbeiten, funktionieren Kontexte nicht mehr, sondern werden gegebenenfalls kontraproduktiv fürs Lernen, es besteht die Gefahr eines ‚cognitive overload‘ [...].“
(Stäudel, 2014, S. 63)

Eine bedeutsame Frage ist somit auch, wie stark die *kognitive Belastung durch die Komplexität des Lernkontextes* – auch angesichts verschieden stark ausgeprägter allgemeiner kognitiver Fähigkeiten der Lernenden⁶¹ – zunimmt. Bedingen Kontextmerkmale einen hohen externen *cognitive load*, so ist mit Einbußen beim Forschenden Lernen – z. B. bei der Förderung *experimenteller Problemlösefähigkeit* – zu rechnen (vgl. Nehring et al., 2015, S. 13). So fanden beispielsweise Nehring, Nowak, Upmeier zu Belzen und Tiemann (2012, S. 256 ff.), dass die aus dem Lernkontext resultierende kognitive Belastung verschieden ist, was letztlich auch die Problemlöseperformanz bei der experimentellen Erkenntnisgewinnung beeinflusst. Die Leistungsfähigkeit der Probanden variiert überdies auch je nach Schulfach oder naturwissenschaftlicher Domäne (vgl. auch Nehring, Nowak, Upmeier zu Belzen und Tiemann, 2015). Komplexität kann sich durch die Anzahl, die Art und den Vernetzungsgrad der bedeutsamen Zusammenhänge und Verflechtungen innerhalb eines Kontexts ergeben (vgl. Nehring et al., 2016, S. 79; van Vorst et al., 2015, S. 33, 36). Van Vorst et al. (2015, S. 33) skizzieren die Herausforderung sehr plastisch: „werden Aufgabenstellungen zu einem komplexen Problem

⁶¹ Dies ist auch im Hinblick auf die unterschiedliche Leistungsstärke in verschiedenen Schularten des deutschen Bildungssystems von Interesse.

konstruiert, indem sie aus mehreren, zerlegbaren Teilproblemen aufgebaut werden, die miteinander verbunden sind und zur Problemlösung kombiniert und gemeinsam durchdacht werden müssen“, so entsteht eine hohe „Informationsdichte, verbunden mit einer [Verarbeitung und] Integration zusätzlicher kontextbezogener Informationen“. Dies wirkt sich zweifelsohne auf den *cognitive load* und die im konkreten Kontext zu erbringende Performanz aus. Es erscheint plausibel, dass Kontexte wie *Nachhaltige Entwicklung*, die ja multiple Perspektiven und unterschiedliche Problemdimensionen sowie Systeme und Systemebenen betrifft (vgl. Hauenschild & Bolscho, 2005, S. 26, 34 ff., 46 ff.) zu den besonders anspruchsvollen weil hochkomplexen Lernkontexten zählen dürfte (s. Abschnitt 7.5.2).

Auch Gößling (2010, S. 126) entdeckte Indizien für unterschiedlich intensive bzw. erfolgreiche Nutzung experimenteller Kompetenzen je nach naturwissenschaftlicher Domäne, wofür sie u. a. unterschiedliche Schwierigkeiten der Inhalte als Erklärungsoption heranzieht. Für die Bearbeitung schriftlicher Items zur Planung von Experimenten konnte u. a. Stauermann (2008, S. 82, 85; vgl. auch Hof, 2011; s. Abschnitt 5.2) zeigen, dass die Lösungswahrscheinlichkeit vom Kontext abhängig ist⁶².

Die „erhöhte *Komplexität der Lernsituation*“ (van Vorst, 2013, S. 31; Hervorhebung durch den Verfasser; vgl. auch Parchmann et al., 2006, S. 1047) könnte somit eine „wesentliche Schwierigkeit“ hervorrufen (van Vorst, 2013, S. 40) und möglicherweise durch höhere Motivation durch den Kontext bedingte positive Effekte begrenzen oder wieder aufheben⁶³. Parchmann, Ralle und Di Fuccia (2008, S. 32) weisen außerdem auf Herausforderungen hin, die v. a. für leistungsschwächere Lernende aus der gesteigerten Eigenständigkeit resultieren (vgl. auch Parchmann et al., 2006, S. 1041, 1058). In diesem Fall wären die Begrenzung offener Erkenntnisgewinnung und eine stärkere Eingrenzung auf zentrale Inhalte und Ziele erforderlich (vgl. ebd., S. 1055). Bennett et al. (2006, S. 357) stießen bei Recherchen für ihren Literaturreview auf ein paar Interventionsstudien, in denen die Probanden der kontextorientierten Experimentalbedingung nach dem Treatment fachlich schlechter abschnitten als die Versuchspersonen in Kontrollgruppen mit geringerem Kontextbezug. Es leuchtet ein, dass Kontexte auch Inhalte umfassen, die für die fachliche oder methodische Kompetenzförderung nicht unmittelbar essentiell sind. Die dafür investierte Unterrichtszeit steht der Schulung der primär fokussierten Kompetenzen nicht zur Verfügung (vgl. Schwartz, 2006, S. 992) und belastet das Arbeitsgedächtnis zusätzlich. Es ist somit eine Frage der Priorisierung: Wofür soll in erster Linie Zeit und kognitive Kapazität zur Verfügung stehen – für die Behandlung von Kontextinhalten

⁶² Allerdings könnten hierfür als Ursache auch limitiertes Domänenwissen oder bereichsspezifische Präkonzepte in Frage kommen.

⁶³ Insofern verwundert die pauschale Aussage von Gropengießer und Kattmann (2013, S. 22) etwas, dass das „Lernen [...] durch die Komplexität nicht behindert, sondern gefördert“ würde.

oder das intensive, konzentrierte Erlernen bzw. Einüben experimenteller Kompetenzen?

Zusammenfassend stellt sich in diesem Abschnitt v. a. die Frage, ob Komplexität und kognitive Herausforderungen, die aus der Kontextorientierung resultieren, die Lerneffekte im Vergleich zu weniger stark kontextorientierten Ansätzen beeinträchtigen. In diesem Zusammenhang ist der Vergleich zweier Studien interessant, bei denen die Kontextorientierung unterschiedlich stark realisiert wurde: Ehmers (2008) mit vier Stunden relativ kurze Intervention führte zu beachtlichen Lernerfolgen, während bei Gansers und Hammanns (2009 b) ähnlich konzipiertem, sogar längerem Treatment bei der Performanz experimenteller Kompetenzen keine signifikanten Effekte festgestellt wurden. Da sich die Stichproben der beiden Studien jedoch sehr unterschiedlich zusammensetzten, ist nicht klar, ob die kontradiktorischen Befunde auf den stärker herausfordernden Kontextbezug bei Ganser und Hammann (2009 b) oder auf die Interaktion von Treatment und höherer kognitiver Leistungsfähigkeit zurückzuführen sind – an Ehmers (2008) Studie nahmen ausschließlich Gymnasiasten teil (vgl. auch Abschnitt 4.5).

In der Synopse der Herausforderungen durch anspruchsvolle Lernkontexte, komplexe Domänen (vgl. Abschnitte 4.13.4 und 6.1.3), z. T. sehr abstrakte Fähigkeiten (vgl. Abschnitte 4.10.3, 6.3.3.5 und 7.6.2) und metakognitiv zu regulierenden Aktivitäten experimentellen Problemlösens (vgl. Abschnitte 3.2 und 3.3.3) stellt sich die Frage, ob die Interaktion dieser Schwierigkeit generierenden Faktoren für einige Lernenden u. U. zu anspruchsvoll sein und die Förderung experimenteller Kompetenzen insofern erschweren könnte. Gerade SSI- und STS-Kontexte sind i. d. R. multiple und höchst herausfordernde mehrperspektivische Kontexte. Sie evozieren vermutlich eine höhere kognitive Belastung, welche die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit erschwert (vgl. Stark et al., 1995, S. 306), wenn diese das Hauptziel darstellt.

4.9.7 Offenes Lernen

4.9.7.1 Mögliche Ursachen für die Resultate bei TIMSS und PISA

Ein weiteres Hauptelement Forschenden Lernens stellt Mayer und Ziemek (2006) zufolge eine gewisse *Offenheit von Lernprozessen* dar (vgl. auch Besser & Heimann, 2017, S. 194). Es stellt sich die Frage, in welcher Weise dieses Charakteristikum Chancen birgt und inwiefern sich Schwierigkeiten für die Kompetenzförderung ergeben können.

Wie in Abschnitt 1.3 bereits angesprochen, nahmen Lehrkräfte naturwissenschaftlicher Fächer, Bildungspolitiker und Fachdidaktiker die unterdurchschnittlichen bzw. mäßigen Ergebnisse deutscher Lernender in internationalen Schulleistungstudien zum Anlass, nach Ur-

sachen für dieses unerwartet schlechte Abschneiden zu suchen. In den Vereinigten Staaten von Amerika hatte man sich nach ähnlich überraschenden Studienbefunden der 1980er-Jahre bereits früher Gedanken gemacht. Lunetta et al. (2007, S. 403) kamen diesbezüglich zur folgenden Einschätzung:

„[...] students worked too often as technicians following ‚cookbook‘ recipes in which they used lower level skills; they were seldom encouraged to discuss hypotheses, propose tests, and engage in designing and performing experimental procedures. Rarely, if ever, were students asked to formulate questions to be investigated or even to discuss sources of error and appropriate sample size. [...] students [were not] asked to describe or explain their hypotheses, methodologies, or the nature and results of their investigations. [...] [in the 1980s,] students tended to perceive that following the instructions, getting the right answer, or manipulating equipment and measuring were the principal purpose for a school science laboratory. [...] The students often failed to understand the relationships between the purpose of the investigation and the design of the experiment. Students rarely wrestled with the nature of science and how it underlies laboratory work, including the interpretation of data; they did not connect their laboratory activity with what they had done earlier, and they seldom noted the discrepancies between their own concepts, the concepts of their peers, and those of the science community [...]. To many students, a laboratory activity has meant manipulating equipment but not manipulating ideas.“

Wer einen Blick in Studien zu Praktiken im Naturwissenschaftsunterricht in Mitteleuropa wirft, wird hinsichtlich typischer Unterrichtsmuster zahlreiche aktuelle Parallelen zu den von Lunetta et al. (2007) kritisierten früheren Zuständen in den USA entdecken:

- Naturwissenschaftsunterricht wird nicht selten *lehrerzentriert* gestaltet (vgl. Adamina et al., 2008, S. 333; Merzyn, 2008, S. 62; Prenzel et al., 2007a, S. 155).
- Bei Demonstrationsexperimenten kommt den *Lernenden* oft eine *rezeptive Rolle* zu (vgl. Baumert & Köller, 2000, S. 284 ff.; Duit, 2003, S. 6 (56); Höttecke, 2004 a, S. 269);
- Der *Anteil von Schülerexperimenten* an der gesamten Unterrichtszeit ist sehr gering (vgl. Adamina et al., 2008, S. 336; Berck & Graf, 2010, S. 169; Düppers, 1975, S. 198; Löwe, 1990, S. 275; Hub. Meyer, 1986, S. 305; Merzyn, 2008, S. 61 f.; Merzyn, 2015, S. 7; Wüsten, Schmelzing, Sandmann & Neuhaus, 2010, S. 129).
- Lernende experimentieren dabei meist nach sehr *detaillierter Anleitung* (vgl. Baumert & Köller, 2000, S. 292; Jatzwauk, 2007, S. 133; Löwe, 1990, S. 276 f.; Lunetta, 1998, S. 251; Lunetta et al., 2007, S. 403; Hub. Meyer, 1986, S. 306 ff.; Muckenfuß, 1995,

S. 159; Seidel et al., 2007, S. 156 f.; Suhr, 2010, S. 12; Thyssen et al., 2016, S. 223; Wodzinski, 2010, S. 157).

- Die wenigsten Schülerexperimente zeichnen sich folglich durch *Offenheit* (s. Priemer, 2011) aus (vgl. Paul & Groß, 2016, S. 69; Plasa & Rincke, 2010, S. 210 f.; Prenzel et al., 2007a, S. 20 f.; Reiss et al., 2016, S. 6; Seidel et al., 2007, S. 158 f., 164 f.; Tesch & Duit, 2004, S. 55, 59; Widodo & Duit, 2004, S. 244).
- Lehrkräfte „ermutigen [selten die Lernenden dazu], ihre eigenen Ideen zu überdenken [...] [und] selbst-regulativ und *reflektiert* zu handeln“ (Widodo & Duit, 2004, S. 244; Hervorhebung durch den Verfasser).
- *Kognitive Aktivierung* (vgl. Baer et al., 2015, S. 178 ff., 186 ff.), Kreativität und problem-lösende Lernaktivitäten kommen sehr kurz (vgl. Aebli, 1998, S. 297; Baumert, Lehmann et al., 1997, S. 215; Jatzwauk, 2007, S. 132 f.; Neumann & Stender, 2013, S. 59 f.; Rincke & Wodzinski, 2010, S. 242; Trendel, Wackermann & Fischer, 2008, S. 334).
- Für die bedeutsame *präexperimentelle Phase* wird meist wenig Zeit investiert (vgl. Jatzwauk, 2007, S. 133; Nehring et al., 2016, S. 79, 89 f.; Tesch & Duit, 2004, S. 59 f.), die Lernenden müssen sie selten selbst meistern (vgl. Neber & Anton, 2008 a und b; Seidel et al., 2007, S. 157 ff.).
- Schülerexperimente dienen meistens in erster Linie der *Steigerung der Motivation* (vgl. Krämer et al., 2013, S. 22; Hub. Meyer, 1986, S. 304 f.) oder zur *Veranschaulichung von Effekten* (vgl. Hart et al., 2000, S. 656, 669 ff.; Lethmate, 2006, S. 7 f.; Suhr, 2010, S. 14; Tesch & Duit, 2004, S. 62 f.), anstatt die *epistemologische Funktion der Prüfung von Kausalhypothesen* zu thematisieren (vgl. Carey et al., 1989, S. 518; Germann et al., 1996, S. 200; Klautke, 1997, S. 327; Lawson, 2003, S. 1389, 1392; Pfeifer, 2010, S. 16; Schulz & Wodzinski, 2010, S. 421; Tesch und Duit (2004, S. 62 f.).
- Schülerexperimente sind selten mit *Reflexion über NOS-Aspekte* verbunden (vgl. Hofstein et al., 2008, S. 62; Hub. Meyer, 1986, S. 304 f.; Schaffer & Pfeifer, 2011, S. 11; Suhr, 2010, S. 12).
- Schulisches Experimentieren blendet diverse *Aspekte authentischer Forschung* aus und zeichnet ein verzerrtes Bild von naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung (vgl. Höttecke & Rieß, 2015, S. 128).
- „*Reflexivität und Theorieleitung*“ spielen im Experimentalunterricht eine eher untergeordnete Rolle (Nehring et al., 2016, S. 79).
- *Binnendifferenzierung* findet im Experimentalunterricht selten statt (vgl. Reiss et al., 2016, S. 6).

Zusammenfassend lassen sich v. a. zwei *Hauptmängel* erkennen: Erstens spielt eigenständiges, kognitiv aktivierendes experimentelles Problemlösen, bei dem selbstständig wissenschaftsmethodische Kompetenzen angewendet werden müssen, kaum eine Rolle. Meier (2016, S. 238) stellt dazu fest: „Das Erkennen und Verstehen, dass ein Experiment selbständig geplant, durchgeführt und ausgewertet werden soll, stellt die Schülerinnen und Schüler [angesichts begrenzter Gewohnheit] vor eine erste Hürde, die je nach experimentellem Vorwissen und unterrichtlichen Vorerfahrungen für die Schülerinnen und Schüler unterschiedlich hoch ist.“ Hier nehmen sich Lehrkräfte noch zu wenig der Leistungsheterogenität innerhalb ihrer Lerngruppen an. Zweitens erhalten die Lernenden wenig Gelegenheit und Impulse, wissenschaftstheoretische Konzepte anhand von Experimenten zu reflektieren und angemessen weiterzuentwickeln.

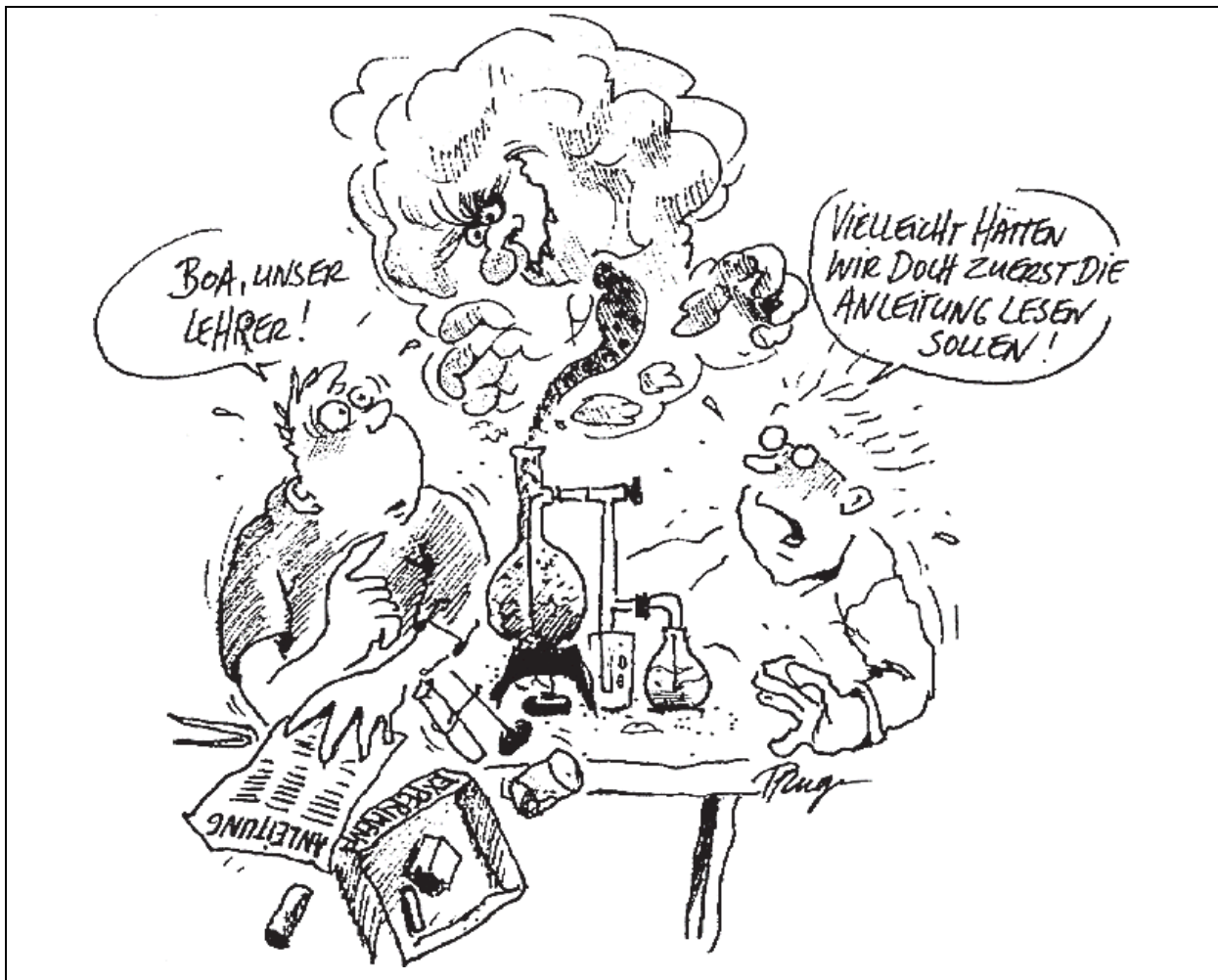


Abb. 4-4. Besser das nächste Mal wieder nach ‚Rezept‘ kochen!?

Die Karikatur in Abbildung 4-4 (Illustration aus *Unterricht Biologie*, 24/2000 (251), S. 4) zeigt, wie sehr Lernende angesichts des ‚gewohnten Experimentalunterrichts‘ (s. o.) überfordert und verunsichert sind, wenn sie eigenständig experimentieren sollen.

4.9.7.2 Förderung eigenständigen Experimentierens durch „minds-on“-Aktivitäten

„Laboratory activities that engage the mind as well as the hands have students' thinking out loud, developing alternative explanations, interpreting data, participating in constructive argumentation about phenomena, developing alternative hypotheses, designing further experiments to test alternative hypotheses, and selecting plausible hypotheses from among competing explanations [...]. Students' thinking should be expressed openly and discussed to help students act on their underlying beliefs in the context of alternative explanations; the articulation of students' ideas can also enable teachers to understand and hence to help the students develop deep, scientific conceptual understanding.“

(Lunetta et al., 2007, S. 424)

Unterricht, der sich in erster Linie durch Anleitungen nacharbeitende (*hands-on-*) Schülerexperimente auszeichnet, führt also nicht automatisch zur effektiven Förderung experimenteller Kompetenzen (vgl. Hammann & Prenzel, 2008, S. 73; Labudde & Möller, 2012, S. 14; Prenzel et al., 2007a, S. 148 ff.). Der Kompetenzbegriff nach Weinert (2002; s. Abschnitt 1.1) bietet einen guten Ausgangspunkt, um dies zu ergründen: Kompetenzen sind im Sinne Weinerts (2002, S. 27 f.) zum einen mit „*kognitiven* Fähigkeiten und Fertigkeiten“ (Hervorhebung durch den Verfasser) assoziiert, d. h. sie erfordern individuelle mentale Aktivitäten. Zum anderen wird deren Potenzial betont, „bestimmte *Probleme* zu lösen“ (dito). Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass die in Deutschland oft zu beobachtenden, in Abschnitt 4.9.7.1 beschriebenen Unterrichtsmuster weder dazu beitragen, experimentelle Problemlösefähigkeit und das dafür notwendige wissenschaftliche Denken (vgl. Mayer, 2007; s. Abschnitt 3.3.2) zu fordern noch zu fördern.

Kochrezeptartiges, auf technische und manuelle Prozeduren begrenztes Experimentieren beinhaltet außerdem wenige Gelegenheiten, wie von Lunetta et al. (2007) gefordert (s. o.), Aspekte des Wissenschaftsverständnisses explizit zu thematisieren (vgl. Birkholz & Elster, 2016, S. 80), geschweige denn selbst zu reflektieren. Folglich mahnt Huang (2008, S. 309) aus gutem Grund an: „[...] an inquiry-based instruction engages students in hands-on and minds-on activities that call for critical reflection on science“. Problematisch ist dies v. a. dann, wenn Lernende implizit Fehlvorstellungen entwickeln, die nicht aufgefangen und kritisch reflektiert werden (vgl. Gebhard et al., 2017, S. 99).

Paul und Große (2016, S. 70) skizzieren mit folgendem Appell eine Sichtweise, die von den meisten zeitgenössischen Naturwissenschaftsdidaktikern eingenommen wird (z. B. Gräber, Nentwig & Nicolson, 2002, S. 143; Ludwig & Oldenburg, 2007, S. 4; Merzyn, 2015, S. 6; Wu & Hsieh, 2006, S. 1296): „[...] für eine weiterführende Unterrichtsentwicklung

[ergibt sich] die Notwendigkeit einer stärkeren Verankerung des ergebnisoffenen Experimentierens mit zunehmender Schülerverantwortung auch im schulischen Unterricht (Forschendes Lernen) sowie einer damit verknüpften bewussteren Reflexion, die sich an den verschiedenen NOS-Aspekten orientiert“ (vgl. auch ebd., S. 68; Emden & Baur, 2016, S. 5). Es geht ergo darum, Lernende durch entsprechende Unterrichtsmodi zu befähigen und darin zu unterstützen, Experimente *selbstständig* zu planen, durchzuführen, kritisch zu reflektieren, aus Evidenz logische Schlüsse abzuleiten sowie Erkenntnisse in anderen Aufgaben und Kontexten anzuwenden und zu transferieren (vgl. Hammann & Prenzel, 2008, S. 73). „Die Schülerinnen und Schüler sind [somit] Problemfinder und -löser, Projektmanager, Präsentatoren, Dokumentatoren, Fragensteller, Evaluatoren, Experten, Multiplikatoren, Selbst-Motivatoren, Gruppenmitglied und Gruppensprecher“ (Höttecke, 2010, S. 7). Hötteckes (2010 b) Liste von Rollen, die Lernenden in solchen kompetenzorientierten Lernumgebungen zukommen, macht deutlich, dass – wie in den Abschnitten 3.3.3 und 4.9.9.2 ausgeführt – nicht nur psychomotorische Fertigkeiten, Kenntnisse zum Umgang mit Techniken, Geräten, Substanzen und Energieformen und wissenschaftsmethodische Fähigkeiten nötig sind, sondern auch metakognitive, soziale und kommunikative Kompetenzen sowie positive Einstellungen. Diese bilden die Grundlage „selbstgesteuerten Lernens“ und tragen mit dazu bei „den Unterricht stärker verstehens- und anwendungsorientiert zu gestalten“ (Gräsel & Parchmann, 2004 a, S. 171, 172).

4.9.7.3 Ziele und positive Wirkungen offenen Lernens beim freien Experimentieren

„Die Schüler/innen sollen so viel wie möglich Freiraum zum selbständigen Experimentieren bekommen.“

(Pichler et al., 2007, S. 5)

In erster Priorität sollen (zumindest teilweise) geöffnete Experimentalaufgaben den Lernenden die Gelegenheit geben, Erfahrungen in der eigenständigen, d. h. auch mehr oder weniger stark selbstregulierten Nutzung wissenschaftsmethodischer Fähigkeiten und manuell-technischer Fertigkeiten sowie in der kritischen Reflexion zu sammeln (vgl. Gräsel & Parchmann, 2004 a, S. 174). Darüber hinaus sind damit noch weitere pädagogische und fachdidaktische Intentionen sowie Positiva verknüpft, die im Folgenden ausgeführt werden⁶⁴.

Selbstgesteuertes Lernen umfasst nach Gräber, Nentwig und Nicolson (2002, S. 143) „Selbstbestimmung, Selbstverantwortung, Selbsttätigkeit“ (vgl. auch Marsch et al., 2009, S. 223 f.).

⁶⁴ Die Frage, ob es *sinnvoll* ist, Pichlers (2007) Forderung ohne weiteres nachzukommen, ist höchst bedeutsam und auf jeden Fall zu erörtern. Sie wird in den Abschnitten 4.9.7.7 und 4.9.8.1 wieder aufgegriffen.

Dabei können sowohl *personale Schlüsselqualifikationen* wie die Selbstwahrnehmung, Sorgfalt und Initiative als auch *Sozial-* und *Methodenkompetenzen* besonders intensiv gefordert und gefördert werden (vgl. Hameyer & Strenge, 1986 b, S. 68; Pötter et al., 2010, S. 18). Satow und Schwarzer (2003, S. 2) zufolge stellt die Möglichkeit, eigene Lernziele zu generieren, Handlungen eigenständig zu planen und zu gestalten sowie die Verantwortung dafür zu übernehmen, eine wichtige Voraussetzung für ein gutes Klima in Lerngruppe sowie zwischen Lehrkraft und Lernenden dar, überdies begünstigt sie ein positives Selbstkonzept. Die Berücksichtigung von individuellen Lernzielen der Schüler vermag außerdem, die intrinsische Motivation unmittelbar zu steigern (vgl. Anton et al., 2005, S. 27; Behringer, 2011, S. 24; Deci & Ryan, 2000; Jiang & McComas, 2015, S. 573; Priemer, 2011, S. 317), was auch die Selbstregulation beim Experimentieren positiv beeinflusst (vgl. Bannert & Reimann, 2009, S. 70, 72).

Vor allem jedoch sind die Lernenden herausgefordert, bereits erworbene experimentelle Kompetenzen eigenständig zu reorganisieren, anzuwenden und auf neue situative Erfordernisse zu übertragen. Damit verbunden sind auch Zielsetzungen selbstorganisierten und -regulierten sowie oft auch kooperativen Lernens (vgl. Scheiber, 2008, S. 22).

Vogt und Meier (2014, S. 194) zeigten, dass Probanden der vierten bis sechsten Klassenstufe ihr Vorwissen intensiver, zum Teil aber weniger kontextbezogen in den Problemlösungsprozess einbringen, wenn keine ausführliche Experimentieranleitung vorgegeben wird. Dies ist mit Blick auf die Grundsätze des moderaten Konstruktivismus' zu begrüßen und macht gleichzeitig auch deutlich, wie bedeutsam *ausreichendes Vorwissen* für die erfolgreiche Bearbeitung offener Experimentalaufgaben ist. In jedem Fall kann die Offenheit zu einer stärkeren kognitiven Aktivierung beitragen (vgl. ebd., S. 195) – sofern die Lernenden motiviert sind.

„[...] das Experiment ist nur Hilfsmittel für den Denkprozeß [sic], ähnlich wie die Rechnung: der Gedanke muß [sic] ihm in allen Fällen und mit Notwendigkeit vorausgehen, wenn es irgendeine Bedeutung haben soll. ... Ein Experiment, dem nicht eine Theorie, d. h. eine Idee, vorhergeht, verhält sich zur Naturforschung wie das Rasseln mit einer Kinderklapper zur Musik.“

(von Liebig, 1863, zit. nach Hofheinz, 2010, S. 8)

Die diesem Zitat (von Liebig, 1863) zugrundeliegende Argumentation klingt einleuchtend: Experimentieranleitungen, die jeden Schritt vorgeben, verhindern i. d. R. (vgl. Rincke, Wodzinski, Hänze & Schmidt-Weigand, 2011, S. 378), dass Lernende die Vorgehensweise intensiv reflektieren, was die kognitive Aktivität und das Verständnis für bestimmte experimentelle Strategien und Prozeduren sowie für den eigentlichen Beweggrund reduziert – das Experiment verkommt in solch einem Fall meist zur reinen *hands-on*-Aktivität. Paul und Groß (2016, S. 67 ff.) zufolge

animiert offenes Experimentieren Lernende in stärkerem Maß zur Reflexion, auch hinsichtlich *Nature of Science*-Aspekten (z. B. Kreativität, Methoden und epistemologischen Strategien im Rahmen der Erkenntnisgewinnung). Eine intensive selbst durchdachte präexperimentelle Phase (vgl. Neber & Anton, 2008 a und b) erhöht überdies die Lernzielorientierung.

*„Ich finde es irgendwie besser, weil es mehr Spaß macht,
wenn man so selber was ausprobieren darf.“*

(Schülerin „C“, 12 Jahre, zitiert nach Rösch, 2009)

Ogilvie und Stinson (1995, S. 22 f.) umschreiben sinngemäß einen weiteren Vorteil offenen Experimentierens, wie es auch die eben zitierte Schülerin zum Ausdruck gebracht hatte: „Die Begeisterung beim naturwissenschaftlichen Arbeiten entsteht dadurch, dass man die Fragestellung selbst definiert und *selbst* die Ideen für die Lösung eines Problems entwickelt“ (Hervorhebung durch den Verfasser). Dies gilt besonders für ungewissheitsorientierte Lernende (vgl. Perrez, Huber & Geißler, 2006, S. 411) und trifft bei einem individuell angemessenen Schwierigkeitsgrad auch auf leistungsschwächere Schüler zu. Deci und Ryan (2000) zufolge stellen Autonomiestreben und Kompetenzerleben zwei menschliche Grundbedürfnisse dar. Erhalten Lernende die Gelegenheit, in einem adressatengerechten Maß durch Freiheiten infolge fehlender Vorgaben beim Experimentieren herausgefordert zu sein, und erfahren sie beim erfolgreichen Problemlösen Selbstwirksamkeit, so steigert dies die Motivation⁶⁵ (vgl. auch auch Jiang & McComas, 2015; Roth, 2008, S. 266; Scheiber, 2008, S. 5). Dies kann noch begünstigt werden, indem sich die Lernenden dabei mit für sie interessanten Themen und Kontexten auseinandersetzen können (vgl. Eisner et al., 2017 a, S. 148). So fanden z. B. Zehren, Neber und Hempelmann (2013, S. 422), dass ergebnisoffenes, eigenständiges Experimentieren im Schülerlabor mit guter unterrichtlicher Einbindung und Kompetenzerleben (u. a. angesichts zeitlicher Überschaubarkeit) längerfristig zu einer höheren intrinsischen Lernmotivation und Fähigkeit für die Formulierung epistemischer Forschungsfragen sowie zu einer Vorliebe für mehr Autonomie beim Experimentieren führen kann.

Zuletzt sei noch auf den Zusammenhang offenen, schülerorientierten Experimentierens mit der *konstruktivistischen Sichtweise* auf Lernen und mit der *Didaktischen Rekonstruktion* hingewiesen: „Laboratory activities create many opportunities in which the students can describe: what they see, what they are doing, and how they explain these things. Yet, asking thought-provoking questions that help students to articulate their observations, their inferences, and their explanations and to connect these with science concepts they ‘know’ and with the

⁶⁵ Im Gegensatz dazu bewirken zu enge Führung und große Kontrolle bei Schülerexperimenten durch die Lehrkraft häufig eine Abnahme der intrinsischen Motivation (vgl. Anton et al., 2005, S. 21; Killermann & al., 2008, S. 64).

concepts of experts is a particularly important and challenging task for a teacher [...]” (Lunetta et al., 2007, S. 427). Hier deutet sich bereits an, dass selbst bei relativ offenem Experimentieren der instruktionalen Begleitung durch Lehrpersonen zumindest hinsichtlich Reflexionsimpulsen eine große Bedeutung zukommt.

Dürfen Lernende in Kooperation mit ihren Klassenkameraden frei experimentieren, so ist der Austausch unter den Lernenden intensiver, als wenn die Lehrperson anleitet – hier suchen die Lernenden u. U. mehr mit der Lehrkraft das Gespräch (vgl. Windt et al., 2014, S. 75).

4.9.7.4 Voraussetzungen für die erfolgreiche Bearbeitung offener Experimentalaufgaben

Grundlegende Voraussetzungen für erfolgreiche Lernprozesse in Zusammenhang mit offenen Experimentalaktivitäten sind nach Horstendahl et al., (2000, S. 21 ff.) u. a. fachliche Kenntnisse (Domänen- und Methodenwissen), soziale Kompetenzen (s. Abschnitt 4.9.9.2), ein positives kriteriales Selbstkonzept (vgl. Hameyer & Strenge, 1986 b, S. 72; Sumfleth et al., 2002, S. 218) und die Wertschätzung der Domäne auf Seiten der Lernenden sowie Rückmeldungen durch die Lehrkraft: diese Größen beeinflussen die Handlungsregulation in komplexen Problemlösesituationen. Im Hinblick auf Letztere stellen Zhang et al. (2015, S. 530) fest: „Students’ inquiry abilities and their conceptual understanding can be promoted more effectively if metacognitive strategies are added to the inquiry curricula to guide them in how to use metacognition during their inquiry” (s. auch Abschnitt 3.3.3). Je offener die Lernumgebung ist, desto bedeutsamer sind diese metakognitiven Fähigkeiten. Weitere Bedingungen wurden in den Abschnitten 3.3 und 4.7 bereits ausführlich besprochen.

4.9.7.5 Ausmaß der Öffnung im Experimentalunterricht bzw. Offenheit des Experimentierens

Unterschiedliche Anspruchsniveaus für die Umsetzung von Bildungsstandards sind in Form von drei *Anforderungsbereichen* (AB) I, II und III (vgl. Beyer, 2006, S. 14 f.; KMK, 2005 a, S. 16 f.) festgelegt. Die Offenheit der Experimentalaufgaben reicht von der ausschließlichen Reproduktion und dem Nachahmen von Prozeduren (AB I) über die reorganisierende Anwendung von Fähigkeiten, Kenntnissen und Fertigkeiten in neuen Zusammenhängen bei nahem Transfer (AB II) bis hin zum reflexiven, weiten Transfer und zur eigenständigen Problemlösung (AB III). Durch die Berücksichtigung entsprechender Operatoren (vgl. KMK, 2005 a, S. 17 f.)

lassen sich verschieden anspruchsvolle Lernaktivitäten gestalten. Priemer (2011, S. 324 ff.) differenziert zwischen mehreren *Dimensionen von Offenheit und Autonomie*: dazu gehören Inhalt, Strategie, Methode, Lösung, Lösungswegdiversität und Phase. Der kognitive Anspruch bzw. die Schwierigkeit der Lernaufgaben in Zusammenhang mit experimenteller Problemlösung hängen folglich von Art und Umfang der bekannten Informationen innerhalb dieser Dimensionen ab. Ein Experiment kann je nach dem stärker *hands-on-* oder *minds-and-hands-on-*orientiert sein (vgl. Vogt & Meier, 2014, S. 190). Tabelle 4-6 zeigt einen Vorschlag von Bell, Smetana und Binns (2005; vgl. Vogt & Meier, 2014, S. 189 – leicht verändert und ergänzt; s. auch Buck, Lowery Bretz & Towns, 2008, S. 53), wie die Herausforderung eines Experiments variiert werden kann:

Tab. 4-6. *Typen von experimentell zu bearbeitenden Lernaufgaben*

Merkmale der Lernaufgabe		vorgegebene Information(en)		
Niveau	Typus	Frage	Methode	Lösung
1	Bestätigung / Nachvollzug	X	X	X
2	strukturiert (mit Experimentieranleitung)	X	X	
3	geführt (ohne Experimentieranleitung)	X		
4	offen			

Anmerkung. X: Information vorgegeben.

Abhängig vom Verhältnis von instruktionaler Anleitung bzw. Unterstützung und eigenständigem Forschenden Lernen können „die Varianten des *Structured Inquiry*, des *Guided Inquiry* und des *Open Inquiry*“ (Kremer & Schlüter, 2008, S. 47; Hervorhebungen durch den Verfasser; vgl. auch Backhaus & Braun, 2009, S. 113; Lunetta, 1998, S. 250; Mayer, 2013, S. 61) unterschieden werden. Buck et al. (2008, S. 54; Hervorhebung durch den Verfasser) ergänzen diese Trias noch um die entgegengesetzten Pole von „*Confirmation*“ auf der einen Seite, also Demonstrationsexperimente samt „lehrerzentrierter Auswertung“, und von „*Authentic inquiry*“ (forschungsanaloges Experimentieren, vgl. auch Grimmer, 2007, S. 89) auf der anderen Seite (vgl. auch Paul & Groß, 2016, S. 60). Bei „*Authentic inquiry*“ fokussieren bzw. formulieren die Lernenden sogar selbstständig Phänomene, Probleme und Fragen ähnlich Forschungsexperimenten (vgl. auch Birkholz & Elster, 2016, S. 80). Entsprechend der Kategorisierung von Schülerexperimenten nach Metzger und Sommer (2010) hinsichtlich des Maßes an Eigenständigkeit bietet es sich v. a. zu Beginn von Spiralcurricula bzw. bei leistungsschwächeren Ler-

nenden an, vom Nacharbeiten detaillierter Anleitungen (vgl. Kerschensteiner, 1963, S. 129; Pfeifer, Schaffer & Sommer, 2011, S. 5) bzw. Rekapitulieren ausgearbeiteter Lösungsbeispiele beim individualisierten Lernen (vgl. Koenen et al., 2017, S. 2) über die Anwendung, Reorganisation und den nahen Transfer (von Wissen und Strategien) hin zu stärker reflektierenden und selbstständigen experimentellen Problemlösungen (Entwicklung eigener Forschungsdesigns) zu gelangen (vgl. LISA, 2003, S. 17 ff.; Metzger & Sommer, 2010, S. 7), wie dies auch der *Cognitive Apprenticeship*-Ansatz vorsieht, dem sich Abschnitt 4.9.8.3 ausführlich widmet.

4.9.7.6 Möglichkeiten für Lernaktivitäten beim offenen Experimentieren

Soll freies Experimentieren im Unterricht realisiert werden, so eignen sich v. a. auf unterschiedliche Art und Weise gut erforschbare sowie vielfältig manipulierbare Phänomene, die durch die Lehrkraft oder anhand genauer Anleitungen als Grunderscheinung eingeführt werden, und die Lernenden im späteren Verlauf gemäß eigener Forschungsfragen und Hypothesen in (ggf. teils vorstrukturierten) Experimentierserien weiter experimentell untersuchen können (vgl. z. B. von Aufschnaiter, 2008, S. 7; Carey et al., 1989; Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Bildung und Sport, 2006, S. 23 ff.; Greinstetter, 2008, S. 329; Hameyer & Streng, 1986; Köhler & Meisert, 2012, S. 140; Windt et al., 2014; Wiskamp, 2008, S. 115 f.). Welche Arbeitsaufträge können dabei eingebracht werden, um die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit noch weiter zu intensivieren?

An dieser Stelle ist zuerst festzustellen, dass es bei der Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit nicht primär darum geht, möglichst viel praktisch zu experimentieren (vgl. Seidel et al., 2007, S. 171). Vielmehr wichtiger ist es, dass die Lernenden die Aktivitäten reflektieren sowie auch das Interpretieren, kreative Denken und In-Bezug-Setzen zu Fachinhalten einüben (vgl. auch Lunetta et al., 2007, S. 424). Insofern betont Lunetta (1998, S. 255) nachvollziehbar: „Following a ‚less is more‘ strategy (i. e., conducting a few investigations thoroughly and carefully) can result in more meaningful learning⁶⁶ than engaging students in large numbers of conventional laboratory activities superficially”.

Lunetta et al. (2007, S. 423) und Stuke (2012, S. 126) listen zahlreiche *Lernaktivitäten* auf, welche die kognitive Aktivierung durch Reflexion und Argumentation begünstigen. Dazu gehören u. a. Aufgaben, experimentelle Designs selbst zu erfinden und die Vorgehensweise zu

⁶⁶ Für intensive Lehr-Lernprozesse ist seiner Meinung nach mehr Zeit als 45 min erforderlich, was für Doppelstunden oder Halbtage bei größeren naturwissenschaftlichen ‚Forschungsprojekten‘ im Unterricht spricht (vgl. Lunetta, 1998, S. 255; Muckenfuß, 2010, Internetdokument: S. 1).

erklären oder eine vorgegebene Handlungsabfolge zu analysieren und zu begründen⁶⁷ bzw. zu beurteilen (s. auch Zehren et al., 2013, S. 421). Auch die kritische Diskussion von Grenzen der Aussagekraft hinsichtlich Stichprobe, Design, Beobachtungen bzw. Messungen und Daten fordert eine größere Verarbeitungstiefe auf Seiten der Lernenden (vgl. Lunetta, 2007, S. 423; Sumfleth et al., 2002, S. 109): „[...] there is a difference [...] between doing something and understanding something“ (Lederman, 1999, zitiert nach Hart et al., 2000, S. 662).

Neben der expliziten *Einführung*, *Erarbeitung* und *Einübung experimenteller Strategien*, wie beispielsweise der Variablenkontrolle, kommt der *systematischen Reflexion* von Sinn und Bedeutung dieser Strategien eine wichtige Rolle im Hinblick auf deren vertieftes Verständnis zu (vgl. Schwichow et al., 2015, S. 347). Es gilt insbesondere, Logik und Notwendigkeit der Strategie zu erkennen und ggf. auch „mögliche Schwachstellen, Ungereimtheiten oder Fehler im Vergleich mit den Strategien anderer zu entdecken“ (Mandl & Kopp, 2003, S. 76). Bereits vor über einem Jahrhundert propagierte Kerschensteiner (1963, S. 92) den Nutzen eines konstruktiv-kritischen und reflexiven Umgangs mit Fehlern, den er als „nicht die schlechteste geistige Schulung“ betrachtete. Im Rahmen von Lernaufgaben können die Lernenden z. B. Fehler in der Vorgehensweise bzw. Mängel in Apparaturen Anderer aufdecken und ihre Ansichten argumentativ artikulieren. Ehmer (2008, S. 192) kommt auf der Grundlage ihrer empirischen Befunde zu dem Schluss, dass negatives Wissen, also die Thematisierung und Analyse von Fehlstrategien, z. B. durch advokatorisches Fehlerlernen, zu einer besseren Durchdringung experimenteller Strategien beiträgt. Um diesen Effekt zu erreichen, können auch historische Fehler in der Geschichte der Naturwissenschaften herangezogen und analysiert werden (vgl. Mayer, 2002, S. 17). Die Kontrastierung korrekter und falscher Vorgehensweisen (z. B. mithilfe von Concept Cartoons; vgl. Arnold, 2015) stellt einen bewährten Impuls für Reflexion und diskursive Aushandlung dar⁶⁸. Weitere Möglichkeiten für konkrete kognitiv aktivierende Lernaktivitäten werden in Abschnitt 4.11.4 angesprochen.

4.9.7.7 Probleme und Herausforderungen durch Offenheit beim Experimentieren

„[...] although the educational potential of inquiry learning is remarkable, it cannot be achieved merely by placing students in the midst of a complex scientific domain for free-reign investigation.

In asking students to direct their own scientific activities, educators implicitly assume that students possess the repertoire of scientific skills necessary for successfully completing such investigations.“

(Keselman, 2003, S. 899)

⁶⁷ Zuvor gilt es natürlich, die Fähigkeit schlüssiger Argumentation per se zu trainieren (vgl. Lawson, 2003).

⁶⁸ Abschnitt 4.6 widmete sich ausführlicher dem Aspekt ‚positive Fehlerkultur‘.

Auf den ersten Blick erscheint die in Abschnitt 4.9.7.3 zitierte Forderung von Pichler et al. (2007) einleuchtend, wie in den Abschnitten 4.9.7.2 und 4.9.7.3 anhand verschiedener Argumente dargelegt wurde. Angesichts der mit offenem Lernen verbundenen Positiva stellt sich daher die Frage, inwiefern „so viel“ gut begründet nicht nur durch ein zusätzliches „wie möglich“ (Pichler et al., 2007, S. 5) zu relativieren, sondern darüber hinaus auch um ein „wie sinnvoll“ zu ergänzen ist: „Das gutgemeinte Maximum an Selbststeuerungsmöglichkeiten scheint [...] in vieler Hinsicht nicht optimal zu sein“ (Stark et al., 1995, S. 294). Die folgenden Zitate stimmen auf die sich daran anschließende Erläuterung ein:

*„The cognitive skills needed for this kind of task
[= addressing scientific problems through inquiry]
are beyond what most students are capable of doing
without direct teacher involvement.“*

(Flick & Lederman, 2006, S. x)

*„Das Forschende Lernen ist für den Schulunterricht
sowohl für die Lernenden als auch für die Lehrenden sehr anspruchsvoll.“*

(Schanze, 2009, S. 19)

Wie in Abschnitt 4.9.2 bereits kurz angesprochen, stellt Entdecken(lassen)des Lernen nicht das Mittel der Wahl dar, wenn es um eine effektive Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit geht:

Offenes Lernen weist ein geringeres Maß an instruktioneller Unterstützung bzw. Anleitung, an Strukturiertheit, an Passung aufgrund fehlender expliziter Binnendifferenzierung und an Feedback auf. Dies wirkt sich auf die Effektivität des Aufbaus von deklarativem Wissen hinderlich aus (vgl. Hattie, 2013, S. 242 ff.; Jiang & McComas, 2015, S. 571; Horstendahl et al, 2000, S. 7 f.; Stark et al., 1995, S. 294) und erhöht den Schwierigkeitsgrad der Lernaufgaben (vgl. Horstendahl et al, 2000, S. 10; KMK, 2005 a, S. 16 ff.). Die Fehlerhäufigkeit steigt, während das Maß der Strategienutzung und die Verarbeitungstiefe abnehmen (vgl. Stark et al., 1995, S. 294).

Komplexe schülerorientierte Experimentieraufgaben, die in sämtlichen Dimensionen „ohne begleitende Instruktion [geöffnet werden, können] schnell zu einer *Überforderung* führen“ (Priemer, 2011, S. 333; vgl. auch Höttecke, 2010, S. 10; Meier & Wellnitz, 2013, S.7; Meier & Mayer, 2014, S. 4; Möller et al., 2002, S. 179). Eine wichtige Bedeutung kommt diesbezüglich der *metakognitiven Regulationsfähigkeit* angesichts des anspruchsvollen offenen Experimentierens zu (vgl. Rincke, Wodzinski, Hänze & Schmidt-Weigand, 2011, S. 378; Wirth et al., 2008,

S. 361 ff.), wie in Abschnitt 3.3.3 weiter ausgeführt wurde. Größere Offenheit beim Experimentieren steigert auch die kognitive Belastung (vgl. Neber & Anton, 2008 b, S. 146; Scharfenberg, Bogner & Klautke, 2008, S. 195, 197). Angesichts der begrenzten Arbeitsspeicherkapazität unseres Gehirns ist abzuwägen, welche kognitiven Aktivitäten nützlich und nötig sind und welche mit Blick auf die zentralen Unterrichtsziele sinnvollerweise eher reduziert werden sollten.

Zwar fand Hof (2011, S. 103 ff., 108 f.) einen leichten Vorsprung beim Zuwachs wissenschaftsmethodischer Kompetenzen bei derjenigen Treatmentgruppe, die sehr offen forschte, im Vergleich zur Experimentalgruppe, die bei den Erkenntnisgewinnungsprozessen stärker angeleitet wurde. In der Regel konnte aber in zahlreichen Studien (vgl. Urhahne & Harms, 2006, S. 367; Windt et al., 2014, S. 79; Wu & Hsieh, 2006, S. 1294) und Metastudien (vgl. Alfieri et al., 2011; Chen & Klar, 1999; Kirschner et al., 2006; Stark et al., 1995, S. 294) nachgewiesen werden, dass instruktionale Unterstützung die Kompetenzförderung bzw. -nutzung stärker begünstigt und dass gänzlich entdeckenlassendes Lernen sowie offenes Experimentieren ohne Hilfsmaßnahmen weniger effizient ist (s. ausführlich in Abschnitt 4.9.8.1). Hopf (2007) fand, dass offenes, problemorientiertes Experimentieren in authentischen Kontexten weder für Lerneffekte noch für die Interessensentwicklung von Vorteil ist. Insofern sprechen mehrere gute Gründe aus lernpsychologischer und fachdidaktischer Sicht dafür, ein *angemessenes Maß an instruktionaler Unterstützung* bereit zu stellen:

„The nature of the guidance the teacher and the curriculum materials provide for the students is very important to the learning that occurs.“
(Lunetta et al., 2007, S. 396)

4.9.8 Instruktionale Unterstützung

„Trotz der Betonung des selbständigen Arbeitens, [sic] sind Lernunterstützungen seitens der Lehrperson wichtig, um einerseits die kognitive Aktivierung sowie die Reduktion einer kognitiven Überlastung andererseits zu gewährleisten und schließlich den Förderbedarf zu diagnostizieren [...]“.
(Arnold, Kremer & Mayer, 2016, S. 34)

4.9.8.1 Bedeutung und Bereiche instruktionaler Unterstützung

Dass experimentelle Kompetenzen und ein angemessenes Wissenschaftsverständnis als „Nebeneffekt“ Forschenden Lernens durch implizite Begegnung mit dieser Erkenntnismethode effektiv zu fördern seien, war eine Vermutung (vgl. Flick, 2006, S. 158; Holliday, 2006, S. 201

f., 207; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002, S. 552 ff.; Nawrath, Maiseyenko & Schecker, 2011, S. 42), die sich im Rahmen intensiver naturwissenschaftsdidaktischer Lehr-Lernforschung der letzten Jahrzehnte nicht bestätigt hat (vgl. z. B. Birkholz & Elster, 2016, S. 88; Holliday, 2006, S. 203; ; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002, S. 573; Vorholzer, 2016, S. 71 f.; Wodzinski, 2010, S. 153): Der Vergleich von impliziter Förderung und explizitem Training fällt bezüglich der Wirksamkeit in der Regel zugunsten *intensiver direkter und reflektierter Schulungsmaßnahmen* aus (vgl. Alfieri et al., 2011; Flick & Lederman, 2006, S. xi; Heidinger & Radits, 2013, S. 131; Henke, 2016, S. 123 ff.; Holliday, 2006, S. 201; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002, S. 553, 573; Kirschner, Sweller & Clark, 2006, S. 83 f.; Rieß & Mischo, 2017, S. 4), wie in Abschnitt 4.9.7.7 bereits kurz angesprochen wurde. Bei entsprechenden Treatments im Rahmen Forschend-entwickelnden Unterrichts (vgl. Besser & Heimann, 2017, S. 195) spielen sowohl *kognitive Modellierung* als auch *instruktionale Begleitung* eine Rolle (vgl. Windt et al., 2014). Besondere Bedeutung kommt sowohl der gezielten Vermittlung von Strategien zur experimentellen Problemlösung sowie zur selbstständigen Handlungsregulation (vgl. Renkl, 2010, S. 742) und Fehlersuche zu (vgl. Holliday, 2006, S. 207 ff.) als auch der Reflexion von *Nature of Science*-Aspekten (vgl. Hofheinz, 2010, S. 12 f.; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002, S. 553 ff.). In der Studie von Vorholzer (2016, S. 120) wurde ein Unterschied zugunsten des expliziten Vermittlungskonzepts mit mittlerem Effekt zum Posttest-Zeitpunkt beobachtet, der allerdings nicht nachhaltig währte (vgl. ebd., S. 128 f.).

Anders, als dies Verfechter des Konstruktivismus' in Reinform behaupten, zeigen die meisten empirische Studien außerdem, dass sich ausführliche Erklärungen (vgl. Zhang et al., 2015, S. 530), explizites Training und instruktionale Unterstützung bei der Anwendung von Kompetenzen nicht negativ auf die *Transfer- und Problemlösefähigkeit* auswirken (müssen) (vgl. Franke-Braun, 2008, S. 168; Kirschner et al., 2006; Klahr & Nigam, 2004; Renkl, 2014, S. 13 ff.). Mit ausführlichen *Lösungsbeispielen* zu arbeiten, kann vielmehr sogar Transfereffekte fördern (vgl. Renkl, 2014, S. 16), wenn intensive Reflexion und die gegenseitige Erklärung dabei berücksichtigter Strategien und Grundsätze realisiert wird und die dargebotenen Hilfen schrittweise reduziert werden. Franke-Braun (2008, S. 131, 180, 189) sowie Rincke und Wodzinski (2010, S. 244) fanden, dass tutorielle Unterstützung in Form von *Karten mit gestuften Hilfen* überdies das Lernerleben positiv beeinflussen kann, wobei v. a. die Bereiche Kompetenzerleben, soziale Einbindung, intrinsische Motivation und kognitive Aktivierung zu nennen sind.

„Schülerinnen und Schüler sind oft wegen fehlenden Vorwissens und geringen Möglichkeiten, das Handeln adäquat zu strukturieren, nicht in der Lage, offene experimentelle Fragestellungen [...] angemessen zu behandeln.“

(Fischer & Draxler, 2001, zit. nach Priemer, 2011, S. 324).

Da die meisten Lernenden offenes Experimentieren nicht gewöhnt sind (vgl. Abschnitt 4.9.7.1; s. auch Rösch, 2009) und bei ihnen dafür notwendige experimentelle bzw. allgemeine selbst-regulatorische Kompetenzen noch unvollkommen sind oder fehlen (vgl. Echevarria & Colburn, 2006, S. 96 f.), ist eine *schrittweise Steigerung der Offenheit der Lernumgebung* erforderlich (vgl. Germann et al., 1996, S. 200; Höttecke, 2010, S. 5; LISA, 2003, S. 17 f.; Windt et al., 2014, S. 73)⁶⁹. Eine solche Vorgehensweise orientiert sich am *moderaten Konstruktivismus*. Moderat konstruktivistisch orientierte Lernumgebungen haben sich in zahlreichen Studien bei der Förderung wissenschaftlichen Denkens und experimenteller Problemlösefähigkeit besonders bewährt (vgl. Hellmich & Höntges, 2010, S. 76; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002, S. 564). Zum passenden Zeitpunkt realisierte und auf individuelle Bedürfnisse abgestimmte tutorielle Hilfestellungen (vgl. Alfieri et al., 2011, S. 12; Thillmann, Künsting, Wirth & Leutner, 2009, S. 113), Strukturierung und Lenkung in moderatem (vgl. Wu & Hsieh, 2006, S. 1308 ff.) bzw. sogar stärkerem Umfang (vgl. Neber & Anton, 2008 b, S. 149) haben sich sowohl beim Erlernen experimenteller Kompetenzen in verschiedenen Bereichen wissenschaftlichen Denkens als auch hinsichtlich des Aufbaus von Fachwissen als bedeutsam und sehr effektiv erwiesen (vgl. Borgenheimer & Weber, 2009; Chen & Klahr, 1999; Ehmer, 2008; Hameyer & Streng, 1986 a, S. 22; Jiang & McComas, 2015, S. 568, 571, 573; Kirschner et al., 2006, S. 75; Lunetta et al., 2007, S. 427 ff.; Zhang, Chen, Sun & Reid, 2004). Seidel et al. (2007, S. 148) bringen dies auf den Punkt: „Guter Unterricht in den Naturwissenschaften [wird] sowohl eine klare Struktur und Anleitung als auch geistige Freiräume bieten, um Schülerinnen und Schüler darin zu unterstützen, eigene Fragestellungen zu entwickeln, selbstständig Versuchsanordnungen zu konstruieren und Schlüsse und Interpretationen aus naturwissenschaftlichen Experimenten zu ziehen.“

Blumberg et al. (2008, S. 70) fanden in der Primarstufe, dass eine stärkere Strukturierung nicht nur fachinhaltliche Lerneffekte stärker begünstigt sondern auch „motivational-affektive und selbstbezogene Zieldimensionen“, sowie dass Kompetenzerleben eher erreicht werden. Vor allem Mädchen (vgl. Scheiber, 2008, S. 5) und gewissheitsorientierte Lernende (vgl. Perrez et al., 2006, S. 411) scheinen (zumindest zu Beginn; vgl. Scheiber, 2008, S. 5, 17) das höhere Maß an Orientierung und Sicherheit zu schätzen (vgl. Blumberg et al., 2008, S. 70; Hameyer & Streng, 1986 b, S. 73).

Diese Erkenntnis lässt sich aus lernpsychologischer Perspektive auf das Forschende Lernen insgesamt ausweiten (vgl. Zhang et al., 2004, S. 269 ff., 277, 279). So begünstigt tutorielle Unterstützung das Lernen in drei Bereichen: (a) bezogen auf den *Umgang mit bzw. Aufbau von Wissen* (z. B. Aktivierung von Vorwissen, Interpretation, Abstraktion und Verständ-

⁶⁹ Zech (2002, S. 308) weist folglich zurecht darauf hin, dass Problemlösen in der Schule zumindest anfänglich nicht vollkommen dem eigenständigen Problemlösen sensu Gagné gleich kommt.

nis neuer Sachverhalte durch Verallgemeinerung und Integration), (b) im Hinblick auf die *eigenständige Erkenntnisgewinnung* durch aussagekräftige Experimente sowie (c) hinsichtlich der *Reflexion des eigenen Procederes*. Zhang et al. (2004, S. 270) sprechen in diesem Zusammenhang von *interpretativer, experimenteller und reflexiver Unterstützung*. Gleichzeitig ist wichtig, den Lernenden die Bedeutung des Erkenntnisgewinnungsprozesses (vgl. ebd., S. 278 f.) und die zugrundeliegende Epistemologie bewusst zu machen.

Instruktionale Hilfen begünstigen nachgewiesenermaßen u. a. die Förderung folgender Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit:

- *epistemologische Überzeugungen* – also Konzepte zur Erkenntnisgewinnung (vgl. Baumert, Bos, Brockmann, Gruehn, Klieme, Köller et al., 2000, S. 64 f.) – durch den Einbezug negativen Wissens (vgl. Chen & Klahr, 1999, S. 1104; Ehmer, 2008) beim Erwerb von entsprechenden Kenntnissen und ein Bewusstsein für Fehler sowie von Fähigkeiten zu deren Identifikation bzw. Vermeidung (vgl. Heinze & Rach, 2013, S. 51);
- *Verständnis der Natur der Naturwissenschaften*⁷⁰ (NOS) bezüglich der Erkenntnisgewinnung durch Experimente (vgl. Henke, 2016, S. 124) – nicht erst bei Siebtklässlern (vgl. Carey et al., 1989), sondern bereits bei älteren Grundschulkindern (vgl. Sodian, Thoermer, Kircher, Grygier & Günther, 2002, S. 199 ff.)⁷¹;
- *Wissensgenese* im Zusammenhang mit Experimentieren durch Impulse zur expliziten Reflexion, Verbalisierung und Generalisierung durch Dekontextualisierung (vgl. Bayrak et al., 2015, S. 178 ff.; Heidinger & Radits, 2013, S. 131; Henke & Höttecke, 2010; Kim & Irving, 2010; Kruse & Denk, 2015, S. 292; Sodian et al., 2006, S. 17 f.);
- *Verständnis des Konzepts „Experiment“* sowie Kenntnis und systematische Anwendung *experimenteller Strategien* durch personale Fördermaßnahmen (vgl. Chen & Klahr, 1999; Klahr & Nigam, 2004) oder Nutzung beispielsweise von Inquiry Boards (vgl. Fischer, 2010);
- *Strukturierung* des experimentellen Problemlöseprozesses durch Strukturierungshilfen (vgl. Wahser, 2007), was z. B. Wiederholungsfehler reduziert und ein systematisches, strukturierteres Vorgehen unterstützt (Wahser, 2007, S. 117 ff.) bzw. mehr-

⁷⁰ Wissenschaftsverständnis entwickelt sich durch Forschendes Lernen ohne bewusste Reflexion kaum (vgl. Birkholz & Elster, 2016, S. 79; Paul & Groß, 2016, S. 70).

⁷¹ Hart et al. (2000, S. 660) berichten von Erfolgen beim Aufbau eines adäquaten *Nature of Science*-Verständnisses bezüglich der Aspekte Kommunikation und Replikation naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnungsprozesse in einer *Science Community*, indem die Lernenden in die Rolle von Wissenschaftlern schlüpfen, den Planungs-, Ausführungs- und Interpretationsprozess sowie Schwierigkeiten beim Experimentieren detailliert ausarbeiten und in Berichten dokumentieren sowie Klassenkameraden die Forschungsarbeiten replizieren lassen. Auch bei Naturwissenschaftslehrkräften hat sich explizite Reflexion und instruktional unterstützte Weiterbildung effektiver als implizite Förderung erwiesen (vgl. Abd-El-Khalick & Lederman, 2000).

stufige Problemlöseschemata (vgl. Germann et al., 1996, S. 193, 199; Stark et al., 1995, S. 297, 300).

4.9.8.2 Formen instruktionaler Unterstützung

Diverse *didaktisch-methodische Maßnahmen* eignen sich für Information, Unterstützung und Strukturierung sowie angeleitete Reflexion: sokratische Unterrichtsgespräche (vgl. Nevers, 2004, S. 173 ff.), Denkanstöße und Leitfragen, Diskussionen und veranschaulichende Impulse (vgl. Carey et al., 1989; Ehmer, 2008; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002, S. 562 ff.; Mayer, 2014, S. 112 f.; Merzyn, 2016, S. 51; Renkl, 2014; Schauble et al., 1991), zu denen auch Concept Cartoons gezählt werden, die zur Reflexion und Diskussion über die Vorgehensweise beim Experimentieren und beispielsweise Testgütekriterien anregen (vgl. auch Arnold, 2015, S. 58 ff., 90 ff.; Meier, Lorenzana & Pfromm, 2016) und bei der „konstruktivistischen Erarbeitung von fachlichen Inhalten“ unterstützen (Arnold, Kremer & Mayer, 2015, S. 101).

Welche *Form der instruktionalen Unterstützung* gewählt werden sollte, ist eine alles andere als triviale didaktisch-methodische Frage, deren Antwort sich auch nach den konkreten, oftmals heterogenen Voraussetzungen der jeweiligen Lerngruppe richtet: So helfen laut der Studie von Arnold (2015, S. 244) verschiedene Unterstützungsmaßnahmen bzw. -modi (z. B. Concept Cartoons vs. Karten mit gestuften Hilfen) Lernenden mit verschiedenem Leistungsvermögen in unterschiedlichem Maß, so dass eine Binnendifferenzierung hinsichtlich der tutoriellen bzw. materialgebundenen Unterstützung sinnvoll erscheint. Da diesbezüglich erst in den letzten Jahren vermehrt geforscht wird, zeigt sich aufs Neue die Notwendigkeit regelmäßiger Fortbildungen für Lehrkräfte (vgl. Arnold, 2015, S. 246), um deren Kenntnisstand zu aktualisieren.

Neben Verständnisschwierigkeiten des Experiment-Konzepts bestehen oft auch *sprachliche Probleme* oder Unzulänglichkeiten in der optimalen Versprachlichung und Kommunikation bei der Formulierung von Sachverhalten, die im hypothetico-deduktiven Verfahren von Bedeutung sind. Hier haben sich Formulierungshilfen für epistemische Fragen und „informiertes Training“ (Neber, 2006, S. 53) dieser Kompetenz zur besseren Wissensgenerierung und Strukturierung des Hypothesentestungsprozesses (vgl. Chin & Osborne, 2008, S. 16; Levin & Arnold, 2008; Neber & Anton, 2008 a bzw. 2008 b) bewährt. Darüber hinaus sind auch unterstützende Maßnahmen zur Generierung von Hypothesen (vgl. Stark et al., 1995, S. 297; Urhahne et al., 2000, S. 166; Wichmann & Leutner, 2009, S. 118) sowie für andere Schritte im Rahmen des Experiments (vgl. Naylor, Breuer-Küppers, Curtis, Danielson, Prem-Vogt & Skiebe-Corrette, 2010, S. 26) zu empfehlen.

Schülerexperimente stellen in vielerlei Hinsicht eine Herausforderung an die begrenzte Kapazität des *Arbeitsgedächtnisses* dar (s. Abschnitt 4.9.7.7): Neben dem Umgang mit Geräten und Substanzen sowie der Anwendung von Techniken und Arbeitsweisen verursacht v. a. die Selbstregulation beim (teil-)offenen Experimentieren (vgl. Eckhardt, Urhahne, Conrad & Harms, 2013, S. 106) starke kognitive Belastung des Arbeitsspeichers (vgl. Girwidz, 2009 c, S. 643). Gerade beim selbstgesteuerten Experimentieren ist somit „adaptive Hilfe“ (Girwidz, 2009 c, S. 646) zielführend – also individuell angemessene „dynamische und situative Unterstützungsmaßnahmen“ (Arnold et al., 2016 b, S. 35), die als „soft scaffolds“ (ebd.) bezeichnet werden:

- Prozessbegleitende, adaptive metakognitive instruktionale (u. U. kognitive Impulse ergänzende; vgl. Zhang et al., 2015, S. 546) *Prompts*⁷² in computerbasierten Experimentierumgebungen dienen der Unterstützung eigenständiger Prozessregulation (vgl. Bannert & Reimann, 2009, S. 72 ff.; Borgenheimer & Weber, 2009, S. 188 ff., 195; Künsting, 2007; Lunetta et al., 2007, S. 413; Stark et al., 1995, S. 304 f.; Thillmann, 2007; Thillmann, Künsting, Wirth & Leutner, 2009; Urhahne & Harms, 2006, S. 363 ff.; Urhahne, Prenzel, von Davier, Senkbeil & Bleschke, 2000, S. 166; Wichmann & Leutner, 2009, S. 118; Zhang et al., 2004; Zhang et al., 2015, S. 533 ff., 542 ff.).
- Eine *prozessorientierte instruktionale Unterstützung* ist auch in nicht computerbasierten Lernumgebungen erfolgreich möglich – etwa durch *Impulse* seitens eines Tutors (Lehrperson oder Mitschüler) in Form von Fragen, Hinweisen oder Feedback (vgl. Meier & Wulff, 2012, S. 52 f.; Zech, 2002, S. 315 ff., 332 f.), durch *prozessbegleitende* und *-strukturierende Medien* wie *Arbeitsblätter* (vgl. Kirschner et al., 2006, S. 80 f.), *V-* bzw. *Vee-Diagramme* – die auch das Aufeinanderbeziehen von Theorie und Empirie und den Wissensgenerierungs- und Reflexionsprozess unterstützen und Leistungsdiagnostik ermöglichen (vgl. Meier & Mayer, 2011, S. 125 ff.; Meier & Mayer, 2012, S. 88 ff.; Meier & Wulff, 2012, S. 53 ff.) –, prozessstrukturierende *Inquiry Boards* („Forschungstafeln“) für den systematischen Umgang mit Variablen und ein explizites Training wissenschaftsmethodischer Kompetenzen (vgl. Fischer, 2010, S. 422 ff.) sowie *Karten mit gestuften Hilfen* bzw. „*Forschertipps*“ (vgl. Arnold, Kremer & Mayer, 2015 und Vortrag am 15.09.2015; Franke-Braun, 2008, S. 146, 168; Rincke & Wodzinski, 2010, S. 243 f.; Rincke, Wodzinski, Hänze & Schmidt-Weigand, 2011, S. 378; Schmidt-Weigand, Hänze, Stäudel & Wodzinski, 2006). Anstelle ausgedruckter Karten mit gestuften Hilfen empfehlen Ostwinkel et al. (2015) die von ihnen entwickelte „NaWi Lab“-*Applikation für iPhones*, die vermutlich ältere Lernende motivational besser erreichen

⁷² (interpretative Hilfen, spezifische Lernzielvorgaben bzw. Arbeitsaufträge, Fragen, Empfehlungen zur Strategienutzung, Impulse zur Reflexion bzw. Begründung und Erklärung, Verarbeitung oder Integration, Rückmeldung)

kann (vgl. ebd., S. 353). Ein solches Hypertext-E-Learning-Tool hat den Vorteil, dass man neben tutoriellen Hilfen zu konkreten Experimentalaktivitäten auch flexibel Informationen zur Strukturierung des Erkenntnisgewinnungsprozesses, Checklisten, Hinweise zum Anfertigen von Protokollen oder experimentell ausgerichteten Facharbeiten sowie spielerische Programme zur Selbstkontrolle aufrufen kann (vgl. ebd., S. 352 ff.).

- Prozessstrukturierende *Arbeits- und Protokollbögen*, die im Sinn der Binnendifferenzierung unterschiedlich ausführliche Hinweise zur Schaffung verschiedener „Schwierigkeitsstufen“ beinhalten können (vgl. von Aufschnaiter & Riemeier, 2005, S. 8; Riemeier, 2005, S. 19).

Erfolgreiche Maßnahmen der Lernunterstützung helfen laut Arnold (2015, S. 244), die *kognitive Belastung während des Experimentierens* zu reduzieren (vgl. auch Kirschner et al., 2006). In verschiedenen Studien (z. B. Eckhardt, 2010; Eckhardt et al., 2013, S. 119 f.) wurde allerdings beobachtet, dass ein zu großes Maß an prozessbegleitenden instruktionalen Anregungen zu einer enormen extrinsischen kognitiven Belastung führt, was den Arbeitsprozess beeinträchtigt: Ein solches „Overprompting“ (Borgenheimer & Weber, 2009, S. 187) wirkt sich kontraproduktiv, weil störend auf den Problemlöse- und Lernprozess aus (vgl. Bannert & Reimann, 2009, S. 73, 76, 82 f.; Urhahne & Harms, 2006, S. 368, 372). Auch der Wechsel zwischen dem Lesen von Prompts und dem Arbeiten mit ikonischen oder symbolischen Repräsentationsformen erhöht den *cognitive load* (vgl. Girwidz, 2009 c, S. 643).

Der Umgang mit den o. g. instruktionalen Hilfen muss explizit und über einen längeren Zeitraum eingeführt und aktiv trainiert (vgl. Eckhardt, 2010, S. 206; Meier, 2016, S. 236 f.; Renkl, 2010, S. 743; Rincke & Wodzinski, 2010, S. 244; Wahser, 2007, S. 115; Walpuski & Sumfleth, 2007, S. 194; Zech, 2002, S. 352) sowie von Seiten der Lernenden akzeptiert werden (vgl. Fischer, 2010, S. 427). Ansonsten ist mit Unverständnis, Überforderung, Ignorieren oder fehlender Motivation zu rechnen (vgl. Meier & Mayer, 2011, S. 131 f.; Stark et al., 1995, S. 294, 308). Dies ergaben Studien zu diversen Unterstützungsmaßnahmen bzw. Medien, so etwa mit Blick auf Lösungsbeispiele (vgl. Gräsel, 2000, S. 192; Koenen et al., 2017, S. 6; Stark et al., 1995, S. 297 f.; Urhahne & Harms, 2006, S. 365), V-Diagramme (vgl. Meier, 2016, S. 91 ff.; Meier & Mayer, 2011, S. 131 ff.; Meier & Mayer, 2014, S. 6 ff.; Meier & Wulff, 2012, S. 53 f.), Inquiry Boards (vgl. Fischer, 2010, S. 423), vorstrukturierte *data cards* (vgl. Schauble, 1996, S. 106) bzw. *evidence cards* (vgl. Osborne et al., 2004, S. R56) als Grundlage für empirische Befunde zur Argumentation, *Strukturierungshilfen* z. B. in Form von Flussdiagrammen der experimentellen Teilschritte (vgl. Wahser, 2007; Walpuski & Sumfleth, 2007, S. 187 f.),

Prozessprotokolle (vgl. Emden & Sumfleth, 2011, S. 242; Emden & Sumfleth, 2012, S. 74), Protokollierungshilfen (vgl. Bayrak et al., 2015, S. 181; Meier & Mayer, 2014, S. 8), Handlungsanweisungen bzw. Orientierungsgrundlagen (vgl. Zech, 2002, S. 352) sowie Karten mit gestuften Hilfen (vgl. Arnold, 2015, S. 56 ff., 91 ff.; Arnold & Kremer, 2012, S. 18 ff.: „Forschertipps“; Franke-Braun, 2008; Stäudel, 2006, S. 215 ff.; Stäudel & Mogge, 2008; Wodzinski, 2010, S. 162 f.).

Als Konsequenz daraus ergibt sich, dass „kurzfristige“ Fördermaßnahmen für offenes Experimentieren i. d. R. nicht greifen können.

Nachdem gerade zahlreiche mit Medien verbundene Formen instruktionaler Unterstützung angesprochen wurden, widmen sich die nachfolgenden Abschnitte einem in den vergangenen Jahrzehnten sehr populär gewordenen moderat konstruktivistischen Ansatz: Der *Cognitive Apprenticeship*-Ansatz (vgl. Reinmann & Mandl, 2006, S. 631 ff.; Urhahne et al., 2000, S. 171) wird zunächst überblickhaft vorgestellt und anschließend in seinen wichtigsten Phasen im Detail erläutert.

4.9.8.3 *Der Cognitive Apprenticeship-Ansatz*

Allgemeines

Der mit „kognitiver Meisterlehre“ ins Deutsche übersetzte Ansatz sieht vor, das Verhältnis von Instruktion zu eigenständigem Konstruieren, Problemlösen und Transfer schrittweise zu verändern (vgl. Kirschner et al., 2006, S. 79 ff.; Sprenger & Otto, 2014, S. 271), dabei jedoch tutorielle Unterstützung weiterhin i. S. der Hilfe zur Selbsthilfe anzubieten. Die Bezeichnung des didaktischen Ansatzes nimmt auf Ausbildungsmaßnahmen Bezug, bei denen ein Meister zu Beginn genau veranschaulicht, auf welche Weise Techniken funktionieren. Das bedeutet, dass Imitationslernen beim Kompetenzaufbau am Anfang die Basis bildet. Tabelle 4-7 (nach Funke & Zumbach, 2006, S. 216 f.; Holliday, 2006, S. 206, 210 f.; Höttecke, 2010, S. 10 f.; Keselman, 2003, S. 899; Kirschner et al., 2006, S. 79 ff.; Mandl & Kopp, 2003, S. 75 f.; Mandl & Kopp, 2005, S. 20 f.; Reinmann & Mandl, 2006, S. 632) zeigt die Phasen, die im *Cognitive Apprenticeship*-Ansatz verwirklicht werden.

Tab. 4-7. Phasen des Cognitive Apprenticeship-Ansatzes

Nr.	Phase	Beschreibung
1	Modelling	explizite Vermittlung durch Vormachen, lautes Denken, Einsatz von Lösungsbeispielen
2	Coaching	Aktivierung der Lernenden, Begleitung durch Betreuung und Unterstützung
3	Scaffolding	Hinweise bei Schwierigkeiten („Gerüst“, Lernunterstützungsmaßnahmen)
4	Fading	Zunahme der Selbstständigkeit, allmähliche Ausblendung der Hilfestellungen
5	Articulation	Aufforderung, dass Lernende laut denken und Strategien erläutern
6	Reflection	Prozesse mit anderen SuS diskutieren, reflektieren; Vergleich; Konzept-Aufbau
7	Exploration	Anregung zu eigenständigem Problemlösen in komplexeren Aufträgen

Übertragen auf die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit bedeutet dies: Nach anfänglicher angeleiteter und modellierter Einführung in die Theorie und Praxis experimenteller Erkenntnisgewinnung sowie dem Kennenlernen und Einüben grundlegender technischer und manueller Fertigkeiten sollen die Lernenden nach und nach mehr Eigenständigkeit durch Offenheit in zunehmend mehr Phasen des Erkenntnisprozesses erreichen (vgl. Anton, Heimann & Rossa, 2005, S. 21 ff.; Bybee, 2006, S. 10 f.; Echevarria & Colburn, 2006, S. 97; Kerschensteiner, 1963, S. 129; Kranz, 2008, S. 114 ff.; Kremer & Schlüter, 2008 b, S. 47; Martius et al., 2016, S. 222; Mayer & Ziemek, 2006, S. 8 f.; Peter, 2014, S. 61; Sprenger & Otto, 2014, S. 271). Instruktionale Unterstützung wird dabei gemäß dem „Prinzip der minimalen Hilfe“ (Zech, 2002, S. 315) realisiert und entsprechend der Möglichkeiten allmählich zurückgenommen.

Um die mit dem Ansatz verbundenen Prinzipien konkret zu veranschaulichen, wird in Box 4-1 exemplarisch die quasiexperimentelle geographiedidaktische Interventionsstudie von Peter (2014) vorgestellt. Die Inhalte betreffen naturwissenschaftliche Phänomene aus der Domäne *Physische Geographie*; insofern sind die Befunde auch aus naturwissenschaftsdidaktischer Perspektive von Interesse. Zudem sind für die Auswahl dieser Publikation zur Illustration des *Cognitive Apprenticeship*-Ansatzes gewisse Parallelen zur Wirkungsstudie des Verfassers bezüglich der Vorgehensweise ausschlaggebend gewesen (s. Unterkapitel 6.3).

Box 4-1. Treatment „Problemlösendes Lernen und Experimentieren“ (Peter, 2014) – Überblick

Peter (2014, S. 61 f., 74 ff.) konzipierte eine Lerneinheit in Geographie für die 6. Klassenstufe, die zehn Lernsequenzen problemorientierten Forschenden Unterrichts umfasste. Dabei standen Experimente zu Süß- und Salzwasserphänomenen im Mittelpunkt. Der Lehr-Lernprozess wurde in lebensweltliche Kontexte eingebettet, die allerdings zeitlich wenig Raum einnahmen⁷³. Dank Input durch die Lehrkraft bzw. über Arbeitsblätter und andere Medien wie Overheadfolien erwarben die Lernenden deklaratives Wissen über Zweck, Phasen, Epistemologie (inklusive Fachtermini und korrekten Umgangs mit Variablen und Hypothesen) und Strategien von Experimenten sowie wissenschaftsmethodische Fähigkeiten. Vorstrukturierte Arbeits- und Protokollblätter, Strukturierungshilfen und Hilfekarten für den Erkenntnisgewinnungsprozess sowie Fördermaßnahmen durch die Lehrkraft, die allesamt an Schülervorstellungen anknüpften bzw. bekannten Schwierigkeiten und Fehlern ansetzten, stellten einen Teil der instruktionalen Unterstützung dar. Diese wurde allmählich zurückgenommen, sodass die Lernenden in der letzten Unterrichtssequenz kooperativ offen experimentierten. Dabei war lediglich das Phänomen vorgegeben. Anhand von Impulsen (Fotos, Karten, Erzählungen) wurde zu Beginn der Lernmodule zügig ein Lernkontext aufgebaut und Problemorientierung geschaffen. Im Fokus stand allerdings das jeweils evozierte Experiment, der Kontext selbst spielte eine eher nebensächliche Rolle. Die Lernenden erarbeiteten anhand der Medien nicht nur wichtige Experiment-Phasen und damit assoziierte wissenschaftsmethodische Kompetenzen, die sie anwandten. Vielmehr hielten die Lernaufgaben auch Impulse zur Reflexion bereit – beispielsweise zur Analyse und Beurteilung (Angemessenheit experimenteller Designs, Güte von Fragen) oder zum Vergleich von präexperimentell generierter Hypothese und Evidenz (vgl. ebd., S. 81 ff.). Im Rahmen ihrer Wirkungsstudie verglich Peter die Effekte des Treatments mit den Lerneffekten in einer Kontrollgruppe, deren Unterricht durch gelenkte Unterrichtsgespräche geprägt und ausschließlich auf den Kompetenzbereich *Fachwissen* ausgerichtet war. Das Forschungsdesign beinhaltete drei Messzeitpunkte. Der Follow-up-Test fand ca. zwei Monate nach der Intervention statt, im Zeitraum dazwischen lagen die Sommerferien.

Was die *Experimentierkompetenz* (die Peter in einer gemeinsamen Skala mit vier Teilkompetenzen – *Fragen formulieren*, *Hypothese generieren*, *Experiment planen* sowie *Daten auswerten* – subsummierte) insgesamt betrifft, unterschieden sich die Mittelwerte zwischen Treatment- und Kontrollgruppe direkt nach der Intervention mit einem starken Effekt, im Follow-up-Test immerhin noch mit einem mittleren Effekt (vgl. ebd., S. 106). Interessant war, dass es bezogen auf bestimmte Teilkompetenzen (*Daten auswerten*) keine Unterschiede zur Kontrollgruppe gab (vgl. ebd., S. 112) bzw. keine signifikanten Langzeiteffekte zu beobachten waren (*Fragestellungen formulieren*), d. h. zu einem späteren Zeitpunkt betrachtet verglichen mit der Performanz vor dem Treatment keine nachhaltige Förderung stattfand (vgl. ebd., S. 108 f.). Peters Intervention ist insofern differenziert zu betrachten: während einzelne Teilkompetenzen erfolgreich gefördert wurden, erwiesen sich andere wissenschaftsmethodische Fähigkeiten in der untersuchten Stichprobe durch das implementierte Treatment als nicht bzw. nicht nachhaltig trainierbar. Langfristig hielten sich die Effekte des unterrichtlichen Treatments im Vergleich zum unmittelbar im Anschluss durchgeführten Posttest sehr in Grenzen (vgl. ebd., S. 138). Was den Aufbau von *Fachwissen* betrifft, unterschieden sich die Gruppen nicht (vgl. ebd., S. 159).

⁷³ Im Treatment der eigenen Studie (Roesch et al., 2015, Rösch et al., 2012) wurde die in den Experimenten der einzelnen Lernmodule gewonnene Evidenz stets noch im Phänomen des jeweiligen lebensweltlichen Kontexts relativ ausführlich i. S. der Urteils- und Entscheidungsfähigkeit sowie zur Vernetzung von Fachwissensinhalten elaboriert. Hintergrund dafür war die Intention, einen Beitrag zur Bildung für nachhaltige Entwicklung zu leisten.

Nach dieser vergleichsweise oberflächlichen Schilderung eines konkreten Beispiels sollen nun im Folgenden einige *wichtige Phasen des Cognitive Apprenticeship-Ansatzes* näher betrachtet werden:

Modelling

Bevor Lernende eigenständig experimentieren, ist eine vorherige *explizite Vermittlung der theoretischen Grundlagen* – z. B. vom Umgang mit Variablen und der Notwendigkeit von Kontrollansätzen – zielführend (vgl. Kirchner & Priemer, 2010, S. 206 f.; Wodzinski, 2010, S. 159).

Das Vormachen (vgl. Keselman, 2003, S. 903, 906) bzw. Präsentieren von einzelnen Kompetenzen, metakognitiven Strategien (vgl. Wu & Hsieh, 2006, S. 1308; Zhang et al., 2015, S. 531) oder von kompletten elaborierten Experimenten kann in Form von realen *Demonstrationsexperimenten*⁷⁴ (vgl. Riemeier, 2005, S. 19), von kurzen Lehrfilmen, also Videosequenzen (vgl. Gräsel, 2000, S. 192; Rincke & Wodzinski, 2010, S. 243; Rincke, Wodzinski, Hänze & Schmidt-Weigand, 2011, S. 378; Stark et al., 1995, S. 306; Urhahne & Harms, 2006, S. 358, 364), oder von lautem Denken (vgl. Hattie, 2013, S. 228 f.) durch „Experten“ erfolgen.

Auch digitale, also computerbasierte tutorielle, ggf. sogar adaptive Lernprogramme sind möglich und erlauben ein abwechslungsreiches multimedial unterstütztes Lernen (vgl. Weidenmann, 2006, S. 467). Lautes Denken des personalen Modells oder Textinformationen eines Lernprogramms können die Lernenden anregen, später die beobachtete „Selbstverbalisierung“ zu übernehmen und dadurch „eigenes Planen, Denken und Problemlösen [besser] unter Kontrolle zu bekommen“ (Mietzel, 2007, S. 194). Auch der Einsatz von kleinschrittigen schriftlichen Lösungsbeispielen und nachfolgenden *Scaffolding-* und *Fading-* Maßnahmen (s. u.; vgl. Alfieri et al., 2011, S. 12; Baumann, 2014, S. 135 ff.; Funke & Zumbach, 2006, S. 213; Lunetta, 1998, S. 254 f.; Lunetta et al., 2007, S. 406; Renkl, 2014, S. 14; Vorholzer, 2016, S. 107) kann effizient sein (vgl. Mietzel, 2007, S. 325 f.). Im Zusammenhang mit dem Benefit aus dem Gebrauch von detaillierten, strukturierten und kommentierten oder zur Selbsterklärung anregenden (vgl. Koenen et al., 2017, S. 4) Lösungsbeispielen spricht man vom „Worked-Example-Effekt“ (Koenen et al., 2017, S. 2).

Die *Lösungsbeispiele* (z. B. hochwertiger epistemischer Fragen; vgl. Chin & Osborne, 2008, S. 16; Neber & Anton, 2008 a und b) präsentieren den Lernenden Möglichkeiten, Stra-

⁷⁴ Können komplexere oder gefährliche Experimente ausschließlich von der Lehrkraft demonstriert werden, so ist es trotzdem möglich, Lernende in ihrer experimentellen Problemlösefähigkeit zu schulen (vgl. Schmidkunz, 2010, S. 13; Wodzinski, 2010, S. 160) und kognitiv zu aktivieren – etwa, in dem sich die Lernenden in Partner- oder Gruppenarbeit nach der Information zu notwendigen Geräten, Apparaturen und Prozeduren sowie relevanten Variablen experimentelle Designs überlegen (vgl. auch Stäudel, 2006, S. 203 ff.), die anschließend im Plenum präsentiert und diskutiert werden. Erst darauf folgt das Demonstrationsexperiment.

tegien und Heuristiken (vgl. Koenen et al., 2017, S. 3) anzuwenden, Prinzipien zu beachten und Problemlöseprozesse selbstregulativ zu strukturieren bzw. angemessen zu protokollieren (vgl. Bayrak et al., 2015, S. 180 ff.; Collet, 2009, S. 76). Auf diese Weise können sie entweder zum Kennenlernen in der *Modelling*-Phase oder als Reflexionsimpuls, für Selbsterklärungen (vgl. Baumann, 2014, S. 137; Funke & Zumbach, 2006, S. 215; Koenen et al., 2017, S. 2; Renkl, 2014, S. 16, 18; Schmidt-Weigand, Hänze & Wodzinski, 2009, S. 131) und als Kontrolle eigener Problemlösungen in einer späteren Phase des *Cognitive Apprenticeship*-Ansatzes herangezogen werden (vgl. Baumann, 2014, S. 140; Koenen et al., 2014, S. 139; Zhang et al., 2004, S. 279). Ihr besonderes Potenzial liegt darin, Lernen während der kompletten Phasensequenz des *Cognitive Apprenticeship*-Prozederes zu begünstigen (vgl. Stäudel, 2014, S. 33). Überdies reduziert ihr Einsatz, wenn er zuvor trainiert wurde und dem Vorwissen der Lernenden adaptiert ist (vgl. Koenen et al., 2017, S. 2, 8 ff.), den *cognitive load* (vgl. Baumann, 2014, S. 136, 139 f.; Hellmich & Höntges, 2010, S. 76; Kirschner et al., 2006; Renkl, 2014, S. 15; Schmidt-Weigand et al., 2009, S. 130).

Zhang et al. (2004, S. 279) vermuten, dass bei leistungsschwachen Lernenden tutorielle Maßnahmen allerdings u. U. auch die kognitive Belastung und Ablenkung vom eigentlichen Lernprozess erhöhen können. Gleiches gilt für Lernende mit hohem Vorwissen, die angesichts zu detaillierter Lösungsbeispiele unnötig kognitiv belastet oder demotiviert werden (vgl. Koenen et al., 2017, S. 2).

Methodisch bieten sich verschiedene Optionen zur *Kombination theoretischer Lösungsbeispiele mit weiteren Lernaktivitäten* an. Koenen et al. (2017, S. 8 ff.) fanden, dass die Effektivität der unterschiedlichen Kombinationsmöglichkeiten nicht einheitlich ist, sondern vom Vorwissen der Lernenden abhängt: klassische ausschließlich in Textform vorliegende Lösungsbeispiele mit (analogen) offenen experimentellen Problemlöseaufgaben („Example-Problem-Pairs“; ebd., S. 3) oder mit dem aktiven Vollziehen des im Lösungsbeispiel beschriebenen *hands-on*-Experiments („experimentunterstütztes Lösungsbeispiel“; ebd., S. 5 ff.). Hier zeigt sich die besondere Bedeutung fachdidaktischen Wissens der Lehrkräfte bezüglich der Zusammenhänge zwischen Lernvoraussetzungen und passenden Binnendifferenzierungsmaßnahmen hinsichtlich Lernaktivitäten und Medienauswahl (vgl. Abschnitte 4.8.2.2 und 4.8.2.3).

Schmidt-Weigand et al. (2009, S. 132) fanden, dass die schrittweise Darbietung von Lösungsbeispielen während des Problemlöseprozesses in Verbindung mit strategischen Lern- und Arbeitsprompts „zu einem positiveren Lernerleben (höhere Kompetenzwahrnehmung, niedrigere kognitive Belastung)“ im Vergleich zu zusammenhängenden Beispielen vor dem eigenen Problemlöseprozess führen: Die Lernenden können auf diese Weise passend zur aktuellen Situation überschaubare Anteile der Musterlösung heranziehen und diese im Rahmen von

Analogiebildung und Transfer intensiv nutzen (vgl. Funke & Zumbach, 2006, S. 211).

Siler und Klahr (2015) haben untersucht, welche Bedeutung die Konkretheit von Reflexionshilfen in Form von Experiment-Beispielen für den Erwerb eines angemessenen, anwendbaren und transferierbaren Verständnisses der Variablenkontrollstrategie hat, die aufgrund ihrer Domänenunabhängigkeit oft übertragen wird (vgl. Schauble et al., 1991, S. 877). Siler und Klahr (2015) fanden, dass Lernende unterschiedlich oberflächlich bzw. tief relevante Eigenschaften der Beispiele erfassen. Für beide Probandentypen haben sich konkretere Anregungen als hilfreich erwiesen. Lernende, die sich jedoch eher auf Oberflächenmerkmale fokussieren, benötigen neben den Denkanregungen und konkreten Beispielen im Vergleich zu denjenigen, die Tiefenmerkmale erkennen, noch weitere Unterstützungshilfen, um das eher oberflächlich ausgeprägte Verständnis zu dekontextualisieren und auf andere Beispiele zu übertragen (vgl. auch Steiner, 2006, S. 193 ff.).

Lediglich kurz mitgeteilte Strategieempfehlungen (vgl. Vollmeyer & Rheinberg, 1998, S. 17), bei denen die Lernenden kognitiv nicht intensiv aktiviert werden, scheinen im Rahmen komplexerer experimenteller Problemlöseprozesse nicht sonderlich wirksam zu sein. Insofern empfiehlt es sich, Lösungsbeispiele stets um konkrete Reflexionsaufträge zu ergänzen.

Coaching

Wodzinski (2010, S. 157) skizziert eine Vorgehensweise mit intensiver tutorieller Begleitung: Dabei aktiviert die Lehrkraft zunächst die Lernenden kognitiv: Diese generieren in Teams eigenständig Fragestellungen zu einem Phänomen, formulieren Vermutungen und erstellen einen Plan für deren Prüfung. Die Lehrkraft versieht die schriftlich fixierten Überlegungen mit kritischen und erläuternden Feedbacks (vgl. Rieß & Mischo, 2017, S. 5 f., 9), die explizit auch auf die korrekte Anwendung experimenteller Strategien eingehen (vgl. auch Harms, 2016, S. 4). Der Austausch und die Diskussion über die Ideen der einzelnen Teams in der gesamten Lerngruppe spielt eine wichtige Rolle bei der Reflexion, bevor die Gruppen die – z. T. revidierten – Planungen umsetzen.

Scaffolding

„[...] teachers and curriculum resources must scaffold complex ideas and experiences in ways that enable students to engage, interact, and reflect meaningfully in these activities in order to construct meaningful scientific knowledge.“

(Lunetta et al., 2007, S. 413)

Die Phase des *Scaffoldings* wird in zahlreichen publizierten Unterrichtskonzepten bzw. unterrichtlichen Tipps aufgegriffen, die den moderaten Konstruktivismus als theoretischen Rahmen wählen. Daher ist ihr ein umfangreicherer Abschnitt gewidmet. Folgende Fragen sind dabei leitend:

- Auf welche Weise können Lehrkräfte die Lernenden bereits Vieles selbstständig machen lassen und ihnen dabei eine Art „Gerüst“ bzw. „Leitplanke“ zur Verfügung stellen, um deren Aktivitäten und Reflexion während des Lernprozesses effektiv zu unterstützen?
- Wodurch ergeben sich Vorteile dieser *guided inquiry*-Maßnahme für die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit gegenüber *structured inquiry*- bzw. *open inquiry*-Unterricht?

Tutorielle instruktionale Unterstützung kann in unterschiedlichen Formen eingebracht werden, wie z. T. in Abschnitt 4.9.8.2 bereits kurz angesprochen wurde: z. B. als adaptive, d. h. situational stimmige prozessbegleitende kognitive, metakognitive, inhaltliche oder strategische Anregungen (vgl. Renkl, 2014, S. 14; Schmidt-Weigand et al., 2009; Shute & Glaser, 1990, S. 55; Zhang et al., 2015, S. 531) und Lernzielvorgaben. Bekannt sind in diesem Zusammenhang u. a. Prompts in computerbasierten Experimentierumgebungen (vgl. Borgenheimer & Weber, 2009, S. 187) –, Karten mit gestuften Hilfen (vgl. Arnold, 2015, S. 56 ff., 91 ff.; Franke-Braun, 2008, S. 72), schriftliche Reflexionsleitfäden für die Gruppenarbeit bzw. die Präsentation und Diskussion im Plenum während bzw. nach Experimentierphasen (vgl. Strobl, 2008 b, S. 87 ff.) oder individualisierte Rückmeldungen zum Vorgehen. Vorteilhaft haben sich auch eine ritualisierte kritische Analyse und Reflexion der experimentellen Vorgehensweise im Team bzw. Tandem erwiesen. Dabei steht z. B. lautes Denken und gezieltes Opponieren bzw. Kontrollieren auf der einen Seite und reaktives Begründen und Argumentieren auf der anderen Seite im Fokus (vgl. Köster, 1994, S. 102 ff.; Métrailler, Reijnen, Kneser & Opwis, 2008, S. 72; Schacht, 2008; SINUS Naturwissenschaften Hessen in Duit, Gropengießer & Stäudel, 2007, S. 138 ff.). Das *Procedere* muss dabei also stets reflektiert werden; gemeinsam wird nach Möglichkeiten der Optimierung gesucht sowie die Handlung reguliert. Ein vergleichbares *Procedere* stellen Lunetta et al. (2007, S. 426) vor: Ihre instruktionale Impuls-Strategie sieht vor, dass die Lernenden mit Fragen zu ihrem Erkenntnisgewinnungsprozess konfrontiert werden – diese können von der Lehrperson oder anderen Lernenden gestellt werden. Auch Checklisten können helfen, die eigene Arbeit kritisch zu planen und durchzuführen bzw. zu reflektieren (vgl. Baur, 2016, S. 201; Bayrak et al., 2015, S. 181; Maiseyenko, 2014, S. 105 ff.).

Welche Vorteile ergeben sich aus diesen Formen instruktionaler Begleitung? *Scaffolds* helfen den Lernenden, ihr Vorwissen zu aktivieren und zu nutzen, ihnen bekannte experimentelle Kompetenzen anzuwenden sowie die Selbstregulation zu optimieren (vgl. Wichmann & Leutner, 2009, S. 124 f.; Wirth, Thillmann, Marschner, Gößling & Künsting, 2011). Überdies reduziert die instruktionale Unterstützung i. S. geleiteten experimentellen Problemlösens (*guided inquiry*; s. Abschnitt 4.9.7.5; vgl. Kremer & Schlüter, 2008 b, S. 47) die kognitive Belastung (vgl. Stark et al., 1995, S. 305). Tutorielle Impulse und Hilfestellungen während der *präexperimentellen Schritte* (vgl. Neber & Anton, 2008 a) – z. B. zur Nutzung problemrelevanten Domänenwissens oder zur Formulierung epistemischer Fragen (vgl. Neber & Anton, 2008 b) – sind angesichts der oft beobachteten Trägheit von Wissen in Problemsituationen (vgl. Hammann, 2005, S. 12) eine wichtige Gelingensbedingung für eigenständiges Experimentieren (vgl. Mayer, 2007, S. 182; Zehren, Neber & Hempelmann, 2013, S. 418): Ohne instruktionale Unterstützung greifen Lernende oftmals auf unwissenschaftliches Alltagsverständnis zurück und verwenden nur selten bereits erlerntes Faktenwissen (vgl. Ziemek, Keiner & Mayer, 2005, S. 35 f.). Auch in der *postexperimentellen Phase*, etwa bei der Auswertung der Evidenz und deren Interpretation, empfiehlt sich ein gewisses Maß an Impulsen, um den Kompetenzaufbau zu unterstützen: Die instruktionalen *Scaffolds* können den Lernenden dabei helfen, domänenspezifisches Faktenwissen intensiver zu durchdenken, zu integrieren und in anwendbares Objektwissen zu transferieren, das etwa bei der Generierung überprüfbarer Forschungsfragen und bei der Antizipation erwarteter Beobachtungen bei nachfolgenden Experimenten herangezogen werden kann (vgl. Peter, 2015, S. 47; Zehren, Neber & Hempelmann, 2013, S. 421; Ziemek, Keiner & Mayer, 2005, S. 38). Impulse, das eigene Vorgehen zu erläutern und argumentativ zu begründen, können die kognitive Verarbeitung vertiefen und die Strategienutzung – in Abhängigkeit von Offenheitsgrad, Motivation und Kompetenz – begünstigen (vgl. Stark et al., 1995, S. 295, 300; s. auch Hattie, 2013, S. 223 ff.; Horstendahl et al., 2000).

4.9.9 Kooperatives Lernen

Als weiteres Kernelement Forschenden Lernens betrachten Mayer und Ziemek (2006) die Kooperation beim Arbeiten und Lernen. Dies überrascht aus pädagogischer Perspektive nicht sonderlich: *Ein* Ziel im Hinblick auf „Lebenskompetenz“ (vgl. Schaefer, 2002, S. 87) durch zeitgemäße Bildung ist es, „in sozialen Situationen gemeinsam komplexe Probleme zu lösen“ (Mietzel, 2007, S. 41; vgl. Gräsel, 2000, S. 189; Ingram & Parker, 2002, S. 34). Dies ist in allen Gemeinschaften notwendig und zielführend – egal ob in der Schule, im Beruf oder anderenorts (vgl. Kunter, Stanat & Klieme, 2005, S. 99). Weinerts (2002, S. 27 f.) Kompetenz-Konzept umfasst explizit auch die „sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen

in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“ (s. auch Abschnitte 1.1 und 4.9.9.2). Gleiches gilt für Ansätze der naturwissenschaftlichen Grundbildung, welche die *Förderung von sozialen Schlüsselqualifikationen* häufig als wichtiges Ziel von Naturwissenschaftsunterricht ansehen (vgl. Gräber & Nentwig, 2002, S. 8; Gräber, Nentwig & Nicolson, 2002, S. 138). Einigen Studien zufolge können pädagogische Zielsetzungen in Zusammenhang mit Sozialkompetenz in Verbindung mit *experimenteller Kleingruppenarbeit* besonders gut erreicht werden (vgl. Welzel et al., 1998, S. 30, 41).

Kleingruppenarbeit wird von vielen Fachdidaktikern im Zusammenhang mit dieser Lernaktivität sogar empfohlen⁷⁵, v. a. wenn es sich um eigenständiges Experimentieren handelt (vgl. Grimmer, 2007, S. 37; Haupt, 2010, S. 26; Herold et al., 2003, S. 17 (67); Knickmeier, 2009, S. 24; Stäudel, 2014, S. 16). Tatsächlich ist sie die am häufigsten im Biologieunterricht beobachtbare Sozialform bei Schülerexperimenten (vgl. Meyer, 1986, S. 306; Moisl, 1988, S. 4). Für den aktuellen Chemieunterricht trifft dies laut einer aktuellen Videoanalyse in 18 10. Klassen von Schulz und Walpuski (2010, S. 421) ebenso zu. Im Rahmen offener Lernangebote wählen auch die Lernenden selbst meist die Zusammenarbeit in Tandems oder Teams (vgl. Asmussen, 2007, S. 58), wenn ihnen dieser Entscheidungsspielraum gegeben wird.

4.9.9.1 Bedeutung und Vorteile kooperativen Arbeitens im Experimentalunterricht

Cohens (1994, S. 2) Reviewstudie berichtet von einer Vielzahl von Publikationen zu *positiven Auswirkungen von Gruppenarbeit* (vgl. auch Brüning & Saum, 2009, S. 151 ff.). Hattie (2013, S. 113) zufolge ist statistisch ein mittlerer Effekt gut funktionierender Gruppenarbeit auf die Schulleistung zu beobachten. Als Sozialform stellt sie ein mesomethodisches Element (vgl. Meyer, 2007, S. 46) dar. Daher lässt sie sich der Ebene der *Unterrichtsprozesse* zuordnen (s. Abb. 4-1). Richtig Sinn macht diese Sozialform jedoch ausschließlich in Zusammenhang mit Lernaufgaben, bei denen Einzel- oder Partnerarbeit nicht zielführend bzw. nicht ausreichend oder suboptimal sind (vgl. Cohen, 1994, S. 8, 14, 20). Erst dann können *Synergieeffekte* entstehen (vgl. Kaufmann, Chernyak & Möller, 2016, S. 357), welche die Lernwirkungen anderer Sozialformen übersteigen (vgl. auch Haag & Hopperdietzel, 2000, S. 483; Meyer, Pffifner & Walter, 2007 b, S. 45; Souvignier & Gold, 2006, S. 155; Stäudel, 2014, S. 28, 47). Diverse Studien untersuchen Fragestellungen in Bezug auf die experimentelle Problemlösefähigkeit von *Lerntteams* (vgl. Wahser, 2007; Walpuski, 2006; s. auch Schreiber, 2012, S. 55).

Positive Effekte der Kooperation betreffen auch die affektive Komponente von Lernprozessen: Neben dem bzw. durch das Gefühl, sozial eingebunden zu sein (vgl. Franke-Braun,

⁷⁵ teilweise raten Autoren auch zur Partnerarbeit (z. B. Riemeier, 2005, S. 19).

2008, 131) kann sich kooperatives Arbeiten sowohl auf die Steigerung der intrinsischen Motivation (vgl. Haag & Hopperdietzel, 2000, S. 484; Holst, 2005, S. 169) als auch der Selbstwirksamkeitserwartung positiv auswirken (vgl. Lunetta, 1998, S. 253; Möller, 2008, S. 268). Dies leuchtet mit Blick auf die Selbstbestimmungstheorie der Motivation ein (vgl. Deci & Ryan, 2000; Mietzel, 2007, S. 399). Minkley, Josek, Kärner und Kirchner (2015, S. 177) fanden überdies, dass kooperatives offenes Experimentieren in Teams dazu geeignet ist, „sowohl die psychische als auch die physische Stressreaktion abzumildern“, weil das subjektive Stressempfinden gegenüber Einzelarbeit reduziert ist.

Doch kooperatives Lernen tangiert noch weitere Zieldimensionen: Gut zusammenarbeitende und u. U. geschlechtshomogene Teams bzw. Lerngruppen (vgl. Benke, 2012, S. 220; Blumberg et al., 2008, S. 62; Cohen, 1994, S. 27; Lembens & Bartosch, 2012, S. 90) erreichen höhere Wissenszuwächse und Steigerungen bezüglich bestimmter Kompetenzen der Erkenntnisgewinnung im Vergleich zu Einzelarbeit (vgl. Hattie, 2013, S. 252; Lunetta et al., 2007, S. 407; Schließmann & Schenzer, 2005, S. 179)⁷⁶. Besonders effektiv ist die Kooperation in Tandems oder Kleingruppen gegenüber Großgruppen (vgl. ebd.; Perrez et al., 2006, S. 409).

Wie lässt sich die positive Auswirkung von Kooperation auf den Lernzuwachs *aus lernpsychologischer Sicht* erklären? Die *sozial-konstruktivistische Perspektive* sieht Lernen nicht ausschließlich als individuellen, aktiven, kreativen Konstruktionsprozess von Kompetenzen an (vgl. Köhler, 2012, S. 123). Sie betont vielmehr auch die *Bedeutung von Kommunikation und sozialer Interaktion* (vgl. Gräsel & Parchmann, 2004 a, S. 173; Mietzel, 2007, S. 47 f.; Müller, 1996, S. 74; Widodo & Duit, 2004, S. 236, 238 f.): Die gemeinsame kommunikative Bearbeitung von Aufgaben und Problemen (vgl. Mandl & Kopp, 2003, S. 82), lautes Denken (vgl. Funke & Zumbach, 2006, S. 214), die Beobachtung und der bewusste, intensive verbale Austausch unter den Interaktanten (vgl. Cohen, 1994, S. 6), das gemeinsame Erkennen, Erklären Diskutieren, „Aushandeln“ (Blaseio, 2010, S. 119) und Abstimmen von Interpretationen (vgl. Heering, 2004, S. 64) beeinflussen die Reflexion und Genese von Verständnis. Darüber hinaus werden in der kooperativen Auseinandersetzung mit einem Lerngegenstand *ehrer* kognitive Konflikte ausgelöst (vgl. Paul & Groß, 2016, S. 68; Souvignier & Gold, 2006, S. 156) und Konzepte weiterentwickelt (vgl. Franke-Braun, 2008, S. 50; Hart et al., 2000, S. 656, 663; Hofstein et al., 2008, S. 61; Jordan & vom Hofe, 2008, S. 5; Lunetta et al., 2007, S. 406; Magnusson, Sullivan Palincsar & Templin, 2006; Meier et al., 2016, S. 26 f.; Schoultz et al., 2001, S. 232; Stäudel, 2014, S. 181; Strike & Posner, 1992, S. 170 f.; Sumfleth et al., 2002, S. 209). Wie in den Abschnitten 4.11 und 4.11.4 angesprochen, können Medien und

⁷⁶ Dies relativiert allerdings die Studie von Métrailler et al. (2008, S. 79 f.) mit Psychologie-Studierenden in einer computerbasierten virtuellen Lernumgebung: individuell bzw. in Dyaden arbeitende Probanden unterschieden sich hier nicht signifikant bezüglich dieser abhängigen Variablen.

Arbeitsaufträge neben einer stärkeren kognitiven Aktivierung auch wertvolle Impulse für einen intensiveren Austausch zwischen den Lernenden geben. So regen beispielsweise Concept Cartoons (vgl. Arnold, 2015; Arnold et al., 2016 b, S. 35) Diskussionen unter Lernenden an. Die damit verbundene Reflexion kann helfen, Informationen in die eigene Wissensstruktur zu integrieren bzw. diese zu modifizieren (vgl. Merzlyn, 2015, S. 4; Merzlyn, 2016, S. 51). Durch die Notwendigkeit zur Mitteilung, Überlegung und Argumentation werden die Verarbeitungstiefe gesteigert (vgl. Franke-Braun, 2008, S. 189; Métrailler et al., 2008, S. 72) und das Bewusstsein für die eigene Vorstellung gefördert. Davon profitieren v. a. leistungsschwächere Gruppenmitglieder (vgl. Cohen, 1994, S. 10; Gleason & Schauble, 2000, S. 347 f.).

„Discussions within and among student teams can examine differences in data and in interpretation; students can consider the effects of sample size, alternative methodologies, error etc. Discussing the interpretation of data generally can enable students to develop more sophisticated concepts and perceptions about the validity of data, about the generalizability of findings and about possible cause-effect relationships. Engaging in such discussions promises enhanced understanding of alternative interpretations and explanations, and an enhanced sense of the value and meaning of consensus in a science community.”

(Lunetta, 1998, S. 253)

In Verbindung mit Experimentieren können Austausch und Aushandlungen auch den Aufbau eines angemessenen *Nature of Science*-Konzepts begünstigen (vgl. Lunetta et al., 2007, S. 406 f.). Zum Tragen kommt hier ein Hintergrund, der auch in den ‚echten‘ Naturwissenschaften von Bedeutung ist: Denkmodelle sollten in einer kritischen *Science Community* (vgl. Hmelo-Silver, Nagarajan & Day, 2002, S. 220) intersubjektiv annehmbar sein. Insofern sollten auch Lernende im Naturwissenschaftsunterricht ein Bewusstsein dafür entwickeln, dass es wichtig ist, eigenständig entwickelte Lösungswege vor anderen zu präsentieren, zu erläutern und auch evidenzbasierte Behauptungen zu rechtfertigen (vgl. Haupt, 2010, S. 27; Osborne et al., 2004, S. 1.7). Die Mitlernenden sind dabei als „Kollegen“ *Critical Friends* (vgl. Kiel, 2010, S. 784) und Bestandteil eines *kollektiven Validierungsvorgangs* (vgl. Köller, Baumert & Neubrand, 2000, S. 238). Birkholz und Elster (2016) erprobten in Schülerlaboren so genannte *Reflexionscafés* – in kleinerem Maßstab sind solche regelmäßigen moderierten Reflexionsphasen im Regelunterricht ohne weiteres auch durchführbar. Gegebenenfalls schriftlich eingebrachte Leitfragen und Reflexionsimpulse (vgl. ebd., S. 85 f.) können selbst ohne die unmittelbare Betreuung und Moderation der Gespräche durch die Lehrkraft in Kleingruppen einen entsprechenden Austausch initiieren.

Ein weiterer Vorteil kooperativen Experimentierens ergibt sich aus dem Sachverhalt, dass „bei einem Mindestmaß von Koordination der Gruppenmitglieder die Lösung durch Erzeugung von Alternativhypothesen [bzw. zusätzlichen Ideen der methodologischen Umsetzung] erleichtert wird“ (Zech, 2002, S. 359). Des Weiteren kann die Zusammenarbeit im Idealfall die *Prozessregulation* begünstigen (vgl. Franke-Braun, 2008, S. 49). Kooperativ interagierende Teammitglieder ergänzen und stützen einander angesichts ihrer heterogenen Leistungsfähigkeit (vgl. Keselman, 2003, S. 901). Positive Auswirkungen auf die Problemlösefähigkeit zeigen sich v. a. für leistungsschwächere und leistungsstärkere Lernende in leistungshomogenen Teams (vgl. Cohen, 1994, S. 10 f.; Rumann, 2004, S. 134). Dies steigert neben dem größeren Autonomieerleben im Vergleich zu Frontalunterricht (vgl. Cohen, 1994, S. 3) Selbstwirksamkeitserfahrungen und somit die Motivation. Aus Lehrersicht ergibt sich als organisatorischer Vorteil, dass Kleingruppen besser als Großgruppen zu beobachten sind (vgl. Schmidkunz, 2006, S. 91), sofern dies z. B. mit Blick auf Leistungsdiagnose gewünscht ist.

4.9.9.2 Bedingungen für erfolgreiche Zusammenarbeit

Der *Erfolg kooperativen problemlösenden Experimentierens* hängt maßgeblich von bestimmten *Voraussetzungen und Kompetenzen der beteiligten Lernenden* ab (vgl. Franke-Braun, 2008, S. 50; Gräsel, 2000, S. 191; Hattie, 2013, S. 113; Mayer, 2007, S. 180; Wild et al., 2006, S. 256 f., 259; Zech, 2002, S. 359 ff.). Hierzu zählen u. a. domänenspezifisches Vorwissen (vgl. Franke-Braun, 2008, S. 146; Kunter et al., 2005, S. 103, 115) sowie Fähigkeiten des Umgangs mit Konflikten (vgl. Kundet et al., 2005, S. 103), der gemeinschaftlichen Regulation und Strukturierung des Arbeitsprozesses (vgl. Cohen, 1994, S. 6, 17 f.; Walpuski & Sumfleth, 2007, S. 186) sowie allgemeine kognitive Fähigkeiten der Teammitglieder (vgl. Cohen, 1994, S. 5; Kunter et al., 2005, S. 100 f., 112) und kommunikative Kompetenzen.

Die *Effizienz von Teamwork* ist angesichts dieser multifaktoriellen Einflüsse und Interdependenzen nicht allgemein vorhersagbar (vgl. Ziemek, Keiner & Mayer, 2005, S. 37). Nicht nur die Effektivität, sondern auch subjektive Einstellungen innerhalb der Lerngruppe gegenüber kooperativen (offenen) Schülerexperimenten werden also stark davon beeinflusst, wie gut Gruppenmitglieder oder Tandempartner aufgabenbezogen und zielführend interagieren und kommunizieren können (vgl. Löwe, 1990, S. 276). Entsprechende prosoziale, kommunikative und selbstregulative Kompetenzen sind im Vorfeld zu trainieren oder prozessbegleitend instruktional zu unterstützen (s. auch Abschnitt 4.9.8.3; vgl. Cohen, 1994, S. 7, 17). Dazu gehören u. a. Techniken und Strategien des Nachfragens, Klärens, Zusammenfassens und Vorhersagens (vgl. Cohen, 1994, S. 18). Solche Fähigkeiten verschaffen gerade bei komplexeren Experi-

mentierreihen Vorteile gegenüber schlecht koordinierter und unreflektierter Zusammenarbeit. Auch die Gewöhnung an *Rollen* (s. u.) macht v. a. bei jüngeren bzw. ungeübten Lernenden Sinn (vgl. Kaufmann et al., 2016, S. 367; Perez et al., 2006, S. 408). Ein Einfluss auf die Produktivität der Gruppe kann aus der Zusammensetzung des Teams im Hinblick auf empfundene Statusunterschiede z. B. bezüglich ethnischer, soziokultureller, intellektueller und Gender-Aspekte resultieren (vgl. Belenky et al., 1986 a, S. 198; Benke, 2012, S. 220; Cohen, 1994, S. 23 f., 27; Cohen, Lotan & Catanzarite, 1990; Ingram & Parker, 2002, S. 62; Meier, 2016, S. 246). Des Weiteren erweisen sich gruppendynamische Phänomene in offenen Problemlöseprozessen häufig dominanter als eine systematische und an strukturierten, logisch ablaufenden Erkenntnisprozessen orientierte Vorgehensweise (vgl. Ziemek, Keiner & Mayer, 2005, S. 36 f.).

Mietzel (2007, S. 400) und Stäudel (2006, S. 219 ff.) beschreiben verschiedene *Möglichkeiten, die Arbeit beim kooperativen Lernen zu optimieren*. Hierzu gehören u. a. die planmäßige Bildung von effektiv zusammenarbeitenden Teams (vgl. Cohen, 1994, S. 3) sowie die Einführung von Aufgaben oder rotierenden Rollen und Strukturen innerhalb der Gruppen (vgl. Cohen, 1994, S. 17, 21 f.; Cohen et al., 1990, S. 212; Goldstein & Puntambekar, 2004, S. 519 f.; Kaufman, Chernyak & Möller, 2016; Mayer, 2006, S. 24, Stäudel, 2014, S. 181). Vorteilhaft haben sich v. a. die Förderung des individuellen Verantwortungsbewusstseins (vgl. Perrez et al., 2006, S. 406; Souvignier & Gold, 2006, S. 155) für eigene Teilaufgaben, gegenseitige Unterstützung und das gemeinsame Arbeitsergebnis (vgl. Cohen, 1994, S. 8; Kunter et al., 2005, S. 102; Mayer & Ziemek, 2006, S. 8; Walpuski & Sumfleth, 2007, S. 184) sowie von Methoden der metakognitiven Prozessregulation erwiesen. In der Literatur werden überdies auch Maßnahmen zur Stärkung positiver Gruppendynamik sowie Training zu Gesprächsführung und Diskussion genannt (vgl. Cohen, 1994, S. 3, 26; Holliday, 2006, S. 211). Außerdem können Feedback zur Qualität der Gruppenarbeit durch die Lehrkraft und Impulse zur gemeinsamen Reflexion von Ist-Stand und Gelingensbedingungen die künftige Teamarbeit verbessern (vgl. Cohen, 1994, S. 26; Perrez et al., 2006, S. 408).

Eine externe Rollenzuweisung für die Wahrnehmung spezieller Aufgaben während des Experimentierens (s. o.) kann laut Kaufmann, Chernyak und Möller (2015) in der 7. / 8. Klassenstufe für Gruppenarbeitsprozesse motivational Vorteile mit sich bringen. Dies scheint allerdings in der Orientierungsstufe der Sekundarstufe I vielleicht infolge höherer Lernmotivation und höheren Sachinteresses noch nicht erforderlich zu sein (vgl. Kaufmann et al., Vortrag am 17.09.2015; Kaufmann et al., 2016, S. 364 ff.).

4.9.9.3 Herausforderungen und Nachteile in Zusammenhang mit kooperativem Lernen

Dass Lernende kooperieren, kann wie zuvor erläutert mit Vorteilen für Lernprozesse verbunden sein. Allerdings klagen Lehrpersonen nicht selten auch über Schwierigkeiten, die sie mit Teamwork assoziieren. Zwei von ihnen werden an dieser Stelle exemplarisch angeführt:

Wie Mayer und Ziemek (2006, S. 8, 10) ausführen, ist in *schlecht präparierten* und *unvorteilhaft zusammengesetzten Gruppen* mit diversen „negative[n] Effekte[n]“ kooperativen Lernens zu rechnen, die den Nutzen dieser Sozialform stark begrenzen oder ins Gegenteil verkehren können (vgl. auch Lunetta, 1998, S. 253).

Gemeinschaftliche Lernprozesse benötigen infolge von Kommunikation und Interaktion viel *Zeit* (vgl. Lunetta, 1998, S. 253; Sumfleth et al., 2002, S. 209). Diese muss zur Verfügung stehen, um die positiven Effekte kooperativer Sozialformen erreichen zu können. Wie im vorausgehenden Abschnitt erwähnt sind darüber hinaus in vielen Lerngruppen auch *aufwändige Maßnahmen* zur Förderung notwendiger personaler, kommunikativer und sozialer Schlüsselqualifikationen erforderlich.

4.10 Weitere Unterrichtsmerkmale

Neben der *Art des Unterrichtsverfahrens* (z. B. Forschendes Lernen) stellen weitere Unterrichtsmerkmale wichtige Determinanten für effektiven Unterricht dar: u. a. die Qualität *sozialer Interaktionen* im Unterricht sowie die curriculare Einbindung eines Lermoduls. Die folgenden Passagen dieses Unterkapitels widmen sich solchen Eigenschaften von Unterricht.

4.10.1 Beziehung zwischen Lehrkraft und Lernenden

Eine „schützende Lernatmosphäre [...], in der niemand bewertet wird“ (Wieneke, 2011, S. 29), also ein positives Klassen-,Klima‘ (s. auch Abschnitt 4.6; vgl. Belenky et al., 1986 a, S. 209; Cortina, 2006, S. 491, 499 f.; Krüger, 2007, S. 90; Meyer, Pfiffner & Walter, 2007 a, S. 44 f.; Mietzel, 2007, S. 413; Weitzel, 2012b, S. 92) bildet prinzipiell einen guten Rahmen für den Erwerb und die Nutzung von Kompetenzen (vgl. Aspekte zur positiven Fehlerkultur in Abschnitt 4.6). Sie kann sowohl von der Lehrkraft im Verhalten gegenüber den Lernenden (vgl. Bruder, 1992, S. 6; Dubs, 2009, S. 96 ff., 365 ff.) als auch von diesen untereinander positiv beeinflusst werden (s. Abschnitte 4.9.9.2 und 4.10.2; vgl. Baumert & Köller, 2000, S. 272; Flick, 2000, S. 120; Hattie, 2013, S. 141 ff.; Horstendahl et al., 2000, S. 16). Eine wertschätzende und faire

Behandlung von Seiten der Lehrkraft bewirkt eine höhere Lernmotivation und Selbstwirksamkeitserwartung bei den Lernenden (vgl. Urhahne, 2008, S. 161) und befördert das Lernen (vgl. Schrader et al., 2008, S. 20).

Der in Studien durchschnittlich zu beobachtende Zusammenhang der Lehrer-Schüler-Beziehung mit der Lernleistung ist mit einer Effektstärke von $d > 0.7$ relativ stark ausgeprägt (vgl. Hattie, 2013, S. 131, 141 ff.). Eine *positive Einstellung der Lernenden gegenüber der Lehrkraft* durch deren wertschätzende Zuwendung fördert das Lernen am Modell (Imitationslernen; vgl. Weidenmann, 2006, S. 458). Dies spielt beim Aufbau experimenteller Problemlösefähigkeit v. a. eine Rolle, wenn die Lernumgebung gemäß des *Cognitive Apprenticeship*-Ansatzes gestaltet wird (s. Abschnitt 4.9.8.3), wobei die Lehrkraft zu Beginn bewusst ‚modelliert‘ und es auf das Nach-Machen ankommt (vgl. Messner, 2009 a, S. 27; Mietzel, 2007, S. 118 f.; Reinmann & Mandl, 2006, S. 631 ff.). Des Weiteren stärkt eine gute Beziehung zwischen Lehrenden und Lernenden das Affiliationsmotiv beim Arbeiten, also den Wunsch, es der Lehrkraft ‚rechtzumachen‘ (vgl. Deci & Ryan, 2000; Horstendahl et al., 2000, S. 18).

Darüber hinaus ist ein *demokratischer Unterrichtsstil* (bei gleichzeitig funktionierender Klassenführung) eine gute Voraussetzung für selbstgesteuertes Lernen (vgl. Mietzel, 2007, S. 190) beim offenen Experimentieren.

4.10.2 Beziehungen zwischen den Lernenden

Prosoziale Verhaltensweisen in einer Lerngruppe begünstigen gewinnbringende Diskurse (vgl. Horstendahl et al., 2000, S. 16) und kooperatives experimentelles Problemlösen (s. auch Abschnitte 4.9.9.1 und 4.9.9.2; vgl. Kunter et al., 2005, S. 111 f.). Sie wirken sich ebenfalls auf die Lernmotivation sowie auf schulische (vgl. Möller, 2008, S. 278) und soziale (vgl. Satow & Schwarzer, 2003) Selbstwirksamkeitserwartungen, die Selbstregulation, Anstrengungsbereitschaft und Verarbeitungstiefe im Zusammenhang mit Schülerexperimenten aus (vgl. Haag & Hopperdietzel, 2000, S. 487; Urhahne, 2008, S. 150). Überdies helfen sie, das Bedürfnis nach sozialer Zugehörigkeit zu befriedigen (vgl. Deci & Ryan, 2000) und können zur Angstreduktion beitragen (vgl. Hattie, 2013, S. 59 f., 141 ff.; Helmke, 2009, S. 221). Angst und intensives Stresserleben in Lehr-Lernsituationen hingegen beeinträchtigen bei starker Ausprägung Lern- und Behaltenseffekte bzw. die Abrufleistung (vgl. Dubs, 2009, S. 71; Roth, 2009, S. 67; Roth, 2017, S. 329; van den Berg, 2015, S. 53 f.).

4.10.3 Curriculare Einbindung von Lernmodulen

Längerfristige Lehr-Lernprozesse planvoll anzulegen, erfordert Überlegungen zur Sequenzierung der Unterrichtsschritte, zu Beziehungen der jeweils fokussierten Kompetenzen zueinander und zur notwendigen Rahmung in Form geeigneter Domänen und passender Lernkontexte. Dabei stellen sich Fragen nach den notwendigen Grundlagen und Vorkenntnissen für die Förderung einer bestimmten Komponente experimenteller Problemlösefähigkeit und nach sinnvollen Anknüpfungspunkten für nachfolgende Lerngegenstände i. S. *vertikalen Transfers* (vgl. Meyer, 2007, S. 202 f.). Ein so verstandenes Arrangement von Lernschritten und -inhalten gestattet *kumulatives Lernen* (vgl. Spörhase, 2012 b, S. 49 ff.). Dabei werden Fähigkeiten, Kenntnisse und Fertigkeiten aufeinander bezogen, miteinander zu komplexeren Kompetenzbündeln vernetzt und bewusst zur Erweiterung der bestehenden Kompetenzen eingesetzt. Lernende erfahren auf diese Weise Anwendungsmöglichkeiten und Zusammenhänge des Gelernten, was die Strukturierung von Wissens-elementen begünstigt (vgl. ebd.). Die Elaboration und bedeutungsvolle Nutzung des Erlernten in multiplen Kontexten, verschiedenen Anwendungszusammenhängen und unterschiedlich komplexen Domänen (vgl. Keselman, 2003, S. 918), die Suche nach Beispielen und deren Vergleich sind grundlegende Voraussetzungen für einen *horizontalen Transfer* (vgl. ebd., S. 50; Meyer, 2007, S. 202 f.). Dieser ermöglicht eine *Einübung* und damit Konsolidierung der Kompetenzen bei gleichzeitiger Flexibilisierung, Abstrahierung und Konzeptgenese durch Dekontextualisierung bei (vgl. Steiner, 2006, S. 195). Die kontinuierliche Nutzung und Vertiefung bzw. Erweiterung experimenteller Problemlösefähigkeit (vgl. Mayer, 2014, S. 112) ist auch angesichts der Vergessensrate geboten, aus der ansonsten langfristig eine wieder rückläufige Performanz bei experimentellen Kompetenzen resultieren würde (vgl. Arnold, 2015, S. 245; Grube & Mayer, 2010, S. 162; Peter, 2015, S. 46): „[...] increased density of exercise of existing cognitive strategies over an extended period may accelerate their development [...]” (Kuhn, Schauble & Garcia-Mila, 1992, S. 286). Sich in einem solchen Lernprozess zunehmend kompetent zu erleben, steigert das Selbstkonzept und die Lernmotivation (vgl. Deci & Ryan, 2000). Kumulative Lehr-Lernprozesse können auch besser an den Präkonzepten zur experimentellen Methode bzw. zum Wesen der Naturwissenschaften anknüpfen, welche die Lernenden mitbringen (vgl. Bybee, 2006, S. 8). Bestehende Kenntnisse und Vorstellungen gilt es aufzugreifen und diese weiterzuentwickeln, wo sie nicht adäquat sind (vgl. auch Abschnitt 4.7.3).

In verschiedenen Studien (z. B. Carey et al., 1989; Chen & Klahr, 1999; Ehmer, 2008; Ganser & Hammann, 2009 b; Walpuski, 2006, S. 69) und Unterrichtsentwicklungsprogrammen wie SINUS (z. B. LISA, 2003, S. 16 ff.) wurden *Konzepte für einen kumulativen Aufbaus experimenteller Problemlösefähigkeit* erprobt (vgl. Bayrhuber, Bögeholz, Elster et al., 2007, S. 284

f.). In der Regel fokussieren solche Unterrichtssequenzen auf epistemologische (z. B. Empiriebezug naturwissenschaftlichen Wissens, hypothetico-deduktives Verfahren; vgl. Carey et al., 1989; Chen & Klahr, 1999; Klahr & Nigam, 2004; Lawson, 2003) oder auf wissenschaftsmethodische Aspekte (vgl. Metzger & Sommer, 2010, S. 4). In manchen Fällen werden NOS-Aspekte und methodologische Kompetenzen explizit miteinander verknüpft (z. B. Ehmer, 2008). In aufeinanderfolgenden Lernmodulen stehen dabei schwerpunktmäßig *einzelne experimentelle Phasen* bzw. darin verortete experimentelle Kompetenzen und weitere Personenmerkmale im Mittelpunkt (vgl. z. B. Arnold, 2015, S. 85 ff.; bik-Arbeitsgruppe Hamburg, 2008?; Ehmer, 2008; Härtig et al., 2017, S. 9; Hof, 2011; LISA, 2003, S. 36 ff.; Lunetta, 1998, S. 255; Lunetta et al., 2007, S. 400; Meier, 2016, S. 260; Neber & Anton, 2008 a, b; Ricker, 2013 a, b; Stäudel, Werer & Freiman, 2004; Stäudel, Werber & Wodzinski, 2006).

Eine *Fokussierung auf die Förderung einzelner experimenteller Kompetenzen* liegt nahe und erscheint sinnvoll (vgl. Knickmeier, 2009, S. 24; Lunetta et al., 2007, S. 400; Nawrath, Maiseyenko & Schecker, 2011, S. 43): indem andere experimentelle Schritte ausgeblendet (vgl. Neber & Anton, 2008 b, S. 149), abgekürzt oder stärker instruktional unterstützt (vgl. Abschnitt 4.9.8.3) bzw. durch Simulationen oder Demonstrationsexperimente ersetzt werden (vgl. Ganser & Hammann, 2009 b, S. 380 f.; Lunetta et al., 2007, S. 420 f.), entsteht weniger kognitive Belastung. Gleiches gilt für die Reduzierung der fachwissenschaftlichen Informationsfülle, falls die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Mittelpunkt steht (vgl. Lunetta et al., 2007, S. 421). Auf diese Weise steht mehr Zeit für den Erwerb der zu vertiefenden Dimension zur Verfügung (s. auch Abschnitt 7.5.2).

Ganser und Hammann (2009 b) und Hammann (2014, S. 104 f.) empfehlen beispielsweise im Zusammenhang mit Kontrollansatz und Variablenkontrollstrategie eine Methodenschulung, die solches kumulatives Lernen gestattet: zuerst soll zu einem vorgegebenen Experimentalansatz lediglich ein unkonfundierter Kontrollansatz entwickelt, als nächstes ein vollständiges einfaktorielles Experiment geplant werden; schließlich gilt es, ein multivariates Experiment zu entwerfen, um zuletzt die Variablenkontrollstrategie in neuen Kontexten auf andere Sachverhalte zu transferieren.

Anhand der präexperimentellen Phase *sensu* Neber und Anton (2008 a, b) sei exemplarisch aufgezeigt, inwiefern die *Hervorhebung einzelner experimenteller Phasen* im Rahmen eines Förderkonzepts für experimentelle Problemlösefähigkeit besonders intensive Lerngelegenheiten zur Entwicklung einer oder weniger ausgesuchter Kompetenzen bietet (vgl. Wu & Hsieh, 2006, S. 1310): Lernende, die unstrukturiert Fragen stellen (vgl. Levin & Arnold, 2008, S. 139, 141), zeigen insgesamt einen geringeren Lernerfolg und formulieren weniger kritische Fragen als Probanden, mit denen Kriterien strukturierter, wissensgenerierender und prozessstrukturierender Fragen sowie Möglichkeiten ihrer Formulierung erarbeitet wurden (vgl. Chin &

Chia, 2004, S. 724; Chin & Osborne, 2008, S. 17; Levin & Arnold, 2008, S. 137; Neber & Anton, 2008 b, S. 145 ff.) – beispielsweise anhand von Lösungsbeispielen mit kausalen, konditionalen oder funktionalen Fragestämmen (vgl. Levin & Arnold, 2008, S. 136; Neber, 2006, S. 55; Neber & Anton, 2008 a, S. 1805, 1809, 1817; Neber & Anton, 2008 b, S. 145, 147) und entsprechenden Formulierungshilfen.

„Es ist schon so:

Die Fragen sind es,

aus denen das, was bleibt, entsteht.“

(Erich Kästner, zitiert nach Behringer, 2011, S. 74)

Qualitativ höherwertige Fragen helfen Lernenden in unterschiedlichster Weise beim experimentellen Problemlösen: sie erleichtern die Aktivierung zuvor erworbenen Vorwissens (vgl. Chin & Osborne, 2008, S. 2; Neber, 2006, S. 55; Neber & Anton, 2008 a, S. 1803 f., 1813) und wirken als Impulse, untereinander mehr zu diskutieren und zu reflektieren (vgl. Chin & Osborne, 2008, S. 3). Überdies bieten sie Gelegenheit, Zusammenhänge hypothetisch anzudenken und die experimentelle Hypothesenprüfung viel zielführender vorzubereiten (vgl. Chin & Chia, 2004), was sich auch positiv auf den Regulationsprozess beim eigenständigen Experimentieren und sinnstiftend auswirkt (vgl. Levin & Arnold, 2008, S. 136; Neber, 2006, S. 51; Neber & Anton, 2008 a, S. 1803; Neber & Anton, 2008 b, S. 143 f.). Außerdem kommen selbst generierte Fragen der Interessen- und somit Schülerorientierung des Unterrichts entgegen (vgl. Chin & Chia, 2004, S. 714, 725; Chin & Osborne, 2008, S. 5). Gute Fragen begünstigen ebenso die Verknüpfung neuer Erkenntnisse mit den Vorkenntnissen (vgl. Neber & Anton, 2008 a, S. 1819), dies wird in kooperativen Lernsettings noch stärker begünstigt (vgl. Chin & Chia, 2004, S. 722). Eine so ausführliche Auseinandersetzung mit der Kompetenz, entsprechend hochwertige epistemische Fragen zu formulieren, erfordert einerseits die Vernachlässigung anderer experimenteller Phasen und Problemlöseschritte. Andererseits kann der Arbeitsspeicher des Gedächtnisses zugunsten der fokussierten Kompetenz voll ausgeschöpft werden: In solchen Unterrichtsmodulen können Lehrkräfte die übrigen Anforderungen übernehmen, jene in deren Komplexität reduzieren oder ganz weglassen, so dass sich die Lernenden besser auf Schwerpunkte konzentrieren können, weil die externe kognitiven Belastung reduziert wird (vgl. Wu & Hsieh, 2006, S. 1296).

Mehrere Gründe sprechen für die Realisierung von *Spiralcurricula zum Aufbau experimenteller Problemlösefähigkeit* (vgl. Arnold, 2015, S. 245; Bell, 2010, S. 19; Ganser & Hammann, 2009 b, S. 377, 379; Grimmer, 2007, S. 88 f.; Hammann, 2004, S. 196; Hammann, 2014, S. 104 f.; Hofstein et al., 2008, S. 62; Muckenfuß, 2010, S. 20; Peter, 2014, S. 162; Ostwinkel et al.,

2015, S. 351; Stäudel, 2004, S. 7; Wilhelmi, 2012, S. 7; Wiskamp, 2008, S. 4, 10):

Erstens kann davon ausgegangen werden, dass die Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit, der Umgang mit technischen Geräten sowie fachgemäße Arbeitsweisen kognitiv bzw. psychomotorisch unterschiedlich anspruchsvoll sind (vgl. Schwichow et al., 2016, S. 234; Wodzinski, 2010, S. 154). Manche experimentelle Kompetenzen wie die der Variablenkontrollstrategie umfassen Teilfähigkeiten, deren Verständnis und Förderung in verschiedenen Stadien der individuellen kognitiven Entwicklung möglich sind (s. Abschnitt 4.7.1.1; vgl. Schneider et al., 1998). Gemäß dem Prinzip von Spiralcurricula (vgl. Schaub & Zenke, 1995, S. 331) könnten in einem ersten Schritt einfachere Aspekte (z. B. Prinzip des ‚fairen Testens‘, Identifikation unkonfundierter Ansatzpaare oder Interpretation korrekter Ansatzpaare) grundgelegt und kann später darauf mit anspruchsvolleren Teilfähigkeiten der jeweiligen Kompetenz (z. B. Planung und Durchführung eigener kontrollierter Experimente) aufgebaut werden (vgl. Schwichow et al., 2016, S. 234). Ein unterschiedlicher Herausforderungsgrad betrifft nicht nur Facetten spezifischer Kompetenzen. Wie Mayer und Ziemek (2006, S. 5) betonen, umfassen die *Kompetenzdimensionen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung* unterschiedlich abstrakte Fähigkeiten. So können anspruchsvollere Teilaspekte des NOS-Verständnisses nur über viele Jahre aufgebaut werden (vgl. Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002, S. 574). Daher ergibt sich zwangsläufig die Notwendigkeit, Spiralcurricula zu entwickeln, die das Training von manuellen Arbeitstechniken, die naturwissenschaftlichen Denkweisen zur Erkenntnisgewinnung (z. B. Konzept und Strategien des Experimentierens) und Wesenszüge der Naturwissenschaften in Bezug auf die Erkenntnismethoden im Lauf der Zeit erweitern und vertiefen helfen, wobei die Lernenden ihre Kompetenzen immer komplexer elaborieren und dabei Konzepte differenzierter aufbauen und miteinander vernetzen (vgl. Ganser & Hammann, 2009 b, S. 379 f.; Kircher & Dittmer, 2004, S. 9 f.; Kremer, 2012, S. 13; Pilot & Bulte, 2006, S. 1098; Schaub & Zenke, 1995, S. 331).

Ein zweites Argument für kumulatives Lernen ist (vgl. Neuhaus, 2011, S. 14; Wagener, 1982, S. 432), dass manche Kompetenzen experimenteller Problemlösefähigkeit miteinander zusammenhängen und aufeinander aufbauen – z. B. die Variablenkontrollstrategie auf dem Bewusstsein für die Notwendigkeit von Kontrollansätzen (vgl. Bruder, 1992, S. 9, 12; Bybee, 2006, S. 4).

Ausgearbeitete *Vorschläge für Spiralcurricula* zur Förderung experimenteller Kompetenzen finden sich u. a. bei Moisl (1988, S. 10) und Meyer (1978, S. 25). Da manche solcher spiralcurricularen Ansätze nicht empirisch geprüft wurden, ergeben sich entsprechende Forschungsdesiderate für die Naturwissenschaftsdidaktiken.

4.11 Medien und Lehr-/Lernmaterialien

Beim Erlernen bzw. Anwenden experimenteller Denk- und Arbeitsweisen werden *Medien als Lehr- und Lernmaterialien* mit der Ebene der *Unterrichtsprozesse* verknüpft (s. Abb. 4-1) und ermöglichen im Idealfall in der Begegnung mit passgenauen Lernaktivitäten eine intensive kognitive, ggf. sogar multimodale oder interaktive Auseinandersetzung (vgl. Girwidz, 2009 c, S. 631 ff.) mit Strategien, Prozeduren und Konzepten des Experiments. An dieser Stelle gilt es bereits hervorzuheben, dass sich nicht nur interaktive Experimente und dynamisches Problemlösen, sondern auch die Bearbeitung von *paper-and-pencil*-Experimenten bzw. -Lernaktivitäten auf die Performanzentwicklung experimenteller Kompetenzen auswirken können (vgl. Schmidt & Möller, 2015, S. 110), worauf später noch weiter eingegangen wird.

Suhr (2010, S. 14) gibt kritisch zu bedenken, dass viele Anbieter von Unterrichtsmedien ihre Experimentiersets v. a. auf leichte Umsetzbarkeit hin konzipieren und damit verbunden auch detaillierte, strukturierte Anleitungen mitliefern. Jene halten die notwendigen Voraussetzungen für einen problemorientierteren Einsatz relativ gering. Laut Höttecke und Rieß (2015, S. 130) kommt hinzu, dass zahlreiche Lernmittel in erster Linie so beschaffen seien, „Erscheinungen und Gesetzmäßigkeiten zeitökonomisch und mit möglichst großer Klarheit zu inszenieren“. Unsicherheiten, Überlagerungseffekte oder Notwendigkeit zum Diskurs von Interpretationen spielen dabei keine Rolle (vgl. ebd., S. 131). All dies verfälsche den Blick auf anspruchsvolle, kreative Aktivitäten sowie auf Grenzen und Unsicherheiten beim naturwissenschaftlichen Experimentieren und reduziere die Eigentätigkeit und metatheoretische Reflexion der Lernenden. Dabei böten gerade offene und anspruchsvollere Experimentieraufgaben die Gelegenheit, „die individuelle Problemlösungskompetenz zu stärken“ (Suhr, 2010, S. 15) und das Naturwissenschaftsverständnis intensiver zu elaborieren (vgl. Höttecke & Rieß, 2015).

Für die *Effektivität von Medien* hinsichtlich der Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit sind neben der im Umgang mit ihnen realisierten Verarbeitungstiefe (vgl. Weidenmann, 2006, S. 438 f.) die Einfachheit bzw. Komplexität, Neuheit bzw. Bekanntheit des Mediums und des sachgemäßen Umgangs von Bedeutung (vgl. Lunetta et al., 2007, S. 421 f.).

Die Auswahl von Medien, technischen Hilfen und Materialien muss sich, um der Kompetenzförderung optimal dienlich sein zu können, an präzisen *Zielsetzungen* (s. Abschnitt 4.2) auf der einen und den *Lernvoraussetzungen der Lernenden* (s. Abschnitt 4.7) auf der anderen Seite orientieren, also z. B. Vorwissen und Verständnis im Umgang berücksichtigen (vgl. Lunetta et al., 2007, S. 422). So gilt es beispielsweise zu entscheiden, ob sich die Lernenden nötige Materialien und Geräte selbst ausdenken und beschaffen bzw. aus einem Fundus auswählen (vgl. Baur, 2016, S. 195) sollen oder ob jene in Lern- oder speziell Experimen-

tierboxen (vgl. Knickmeier, 2009, S. 25; Koenen et al., 2017, S. 4; Lucius, 2000) bereits größtenteils zusammen- und zur Verfügung gestellt werden. Letzteres ist in Abhängigkeit von Intentionen, Leistungsstand der Lernenden, organisatorischen und Zeitaspekten zu überlegen. Zusammenfassend leuchtet ein: „Fachlich und pädagogisch unterschiedliche Zielsetzungen des Experimentierens müssen sich in der didaktischen Verortung und Gestaltung des Experiments spiegeln, damit sie zum Tragen kommen“ (Muckenfuß, 2010, Internetdokument: S. 1; vgl. auch Welzel et al., 1998, S. 30). Um den heterogenen Lernvoraussetzungen gerecht zu werden, ist auch bei der Gestaltung bzw. Auswahl von Medien sowie in Zusammenhang mit zugehörigen Arbeitsaufträgen *Binnendifferenzierung* erforderlich (vgl. Gebhard et al., 2017, S. 58).

Es schließen sich Abschnitte an, die sich exemplarisch bedeutsamen Eigenschaften oder Typen von Medien im Experimentalunterricht widmen.

4.11.1 Kognitive Belastung durch Lernaktivitäten in Zusammenhang mit Medien

Die Arbeit mit bzw. das Zusammenspiel von Geräten, Originalen, Modellen, Substanzen sowie schriftlichen oder digitalen Medien mit kognitiven oder metakognitiven Denkpulsen (vgl. Wu & Hsieh, 2006, S. 1311) fordert den Arbeitsspeicher unseres Gedächtnisses unterschiedlich stark (vgl. Girwidz, 2009 c, S. 635, 641 ff.; Unterbruner, 2007, S. 156). Ist dessen kognitive Belastung z. B. durch die komplizierte Handhabung oder infolge der Polarisierung der Aufmerksamkeit durch Neuheit zu hoch (vgl. Lunetta et al., 2007, S. 422), so verläuft der Verarbeitungsprozess suboptimal und die Verarbeitungstiefe beim eigentlich intendierten Lernvorgang ist reduziert (vgl. Girwidz, 2009 c, S. 642). Um eine Überforderung der Lernenden durch zusätzliche Herausforderungen und kognitive Überlastung zu vermeiden, müssen im Vorfeld Umgang und Lernaktivitäten mit entsprechenden Medien bzw. technischen Hilfsmitteln eingeübt werden (s. auch Abschnitt 4.9.8.2; vgl. Grimmer, 2007, S. 23, 39). So weisen auch Hart et al. (2000, S. 656) auf der Grundlage verschiedener Studien darauf hin: „laboratory work often cognitively overloads students with too many things to recall“. Der *cognitive load* (vgl. auch Weidenmann, 2006, S. 440) kann u. a. reduziert werden, indem dargebotene Reize bzw. geforderte Lernaktivitäten (s. Abschnitt 4.9.7.6) auf wenige zentrale und für den Lernprozess relevante Schwerpunkte beschränkt werden (vgl. Flick, 2000, S. 121; Girwidz, 2009 a, S. 255; Lunetta et al., 2007, S. 400; Stark et al., 1995, S. 306) und relevantes Vorwissen bereits im Vorfeld erworben wird (vgl. Girwidz, 2009 c, S. 636 f., 642). Auf zusätzliche irrelevante Reize (z. B. Texte, Darstellungen), ist bei der Mediengestaltung bzw. -auswahl also nach Möglichkeit zu verzichten (vgl. Girwidz, 2009 c, S. 642). Daneben können eine bewusste Reihenfolge des Medien- und Lernaktivitätseinsatzes mit schrittweise ansteigender Komplexität sowie

eine „kognitiv strukturierende Gesprächsführung“ (Möller et al., 2002, S. 181) das Maß der Belastung herabsetzen.

Arnold, Kremer und Mayer (2016 a, S. 40 f.) fanden, dass die kognitive Belastung beim Experimentieren vermindert werden kann, wenn reflexive Diskurse über wissenschaftsmethodische Aspekte mithilfe von Concept Cartoons in kooperativen Settings angeregt werden. Zudem begünstigt dieses Medium den Erwerb wissenschaftsmethodischen Verständnisses und naturwissenschaftlichen deklarativen Wissens (vgl. ebd.).

Strukturierte bzw. strukturierende prozessbegleitende instruktionale mediale Hilfen (wie Arbeitsaufträge, Arbeitsblätter, Protokolle oder Forschermappen; vgl. Parchmann, 2009, S. 84; Schweder, 2012, S. 71; Schwichow et al., 2015, S. 349) sowie klare eingeübte Regeln beim kooperativen Lernen reduzieren den *extraneous cognitive load* überdies (vgl. Girwidz, 2009 c, S. 641). Selbst zu erstellende Medien wie Berichte, Protokolle, Präsentationen und Portfolii können den Lernenden helfen, intensiver auf die Handlungsregulation und Reflexion zu achten, wenn dabei die Erstellung und Interpretation von Diagrammen und anderen Grafiken sowie eigene Erläuterungen, Begründungen und die Fehleranalyse eine Rolle spielen (vgl. Flick, 2000, S. 119; Haupt, 2010, S. 29; Herold, Burek & Späth, 2003, S. 17 (67)).

Im Vorfeld vorbereitete materialbasierte, nicht dynamische Unterstützungsmedien wie Concept Cartoons (z. B. Arnold, 2015; Arnold et al., 2016 b) und Karten mit gestuften Hilfen (z. B. Stäudel & Mogge, 2008) werden als „*hard scaffolds*“ bezeichnet (Arnold et al., 2016 b, S. 35; Hervorhebung durch den Verfasser). Häufig sind sie so konzipiert, dass sie an den in Tabelle 4-1 (Abschnitt 4.7.3) erwähnten typischen Schwierigkeiten von Lernenden ansetzen. Daneben existieren noch Strukturierungshilfen wie Inquiry Boards (z. B. Fischer, 2010), V(ee)-Diagramme (z. B. Meier & Mayer, 2014) und andere (z. B. Wahser, 2007) (s. Abschnitt 4.9.8.2). Solche strukturierenden Medien tragen längerfristig auch dazu bei, den Experimentierprozess systematischer zu gestalten und adäquates deklaratives Wissen über das Experiment als Erkenntnismethode aufzubauen.

4.11.2 Kategorisierung von Experimenten bezüglich der eingesetzten Medien

Experimente lassen sich hinsichtlich der Versuchsanordnung in *Natur-* bzw. *Realexperimente*⁷⁷ und *Modellexperimente* unterscheiden (vgl. Lethmate, 2006, S. 6; Otto & Mönter, 2015, S. 5 f.; Rinschede, 2003, S. 274; Sauermost & Freudig, 2000, S. 295; Ullrich, 2005, S. 121). Anstelle von Realexperimenten mit Originalobjekten und ‚echten‘ natürlichen Prozessen können beim Forschenden Lernen auch Modellexperimente zur Förderung experimentel-

⁷⁷ Terminologisch denkbar wäre auch, Realexperimente den Denkeexperimenten gegenüberzustellen.

ler Problemlösefähigkeit (vgl. Borgenheimer & Weber, 2009, S. 183; Upmeier zu Belzen, 2013, S. 330) herangezogen werden. In der interaktiven Auseinandersetzung mit *Simulationen* (vgl. Greefrath & Weigand, 2012, S. 2; Urhahne & Harms, 2006, S. 359) werden hier Erkenntnisse bzw. Prognosen über die modellierten Systeme gewonnen (vgl. Fleige, Seegers, Upmeier zu Belzen & Krüger, 2012 b, S. 4 ff.; Grünkorn, Lotz & Terzer, 2014, S. 134 ff.; Lethmate, 2006, S. 5 f.; Meisert, 2009, S. 425 ff.; Nehring, Nowak, Upmeier zu Belzen & Tiemann, 2012, S. 255; Rinschede, 2003, S. 274 f.; Terzer & Upmeier zu Belzen, 2007, S. 38; Upmeier zu Belzen, 2013, S. 325; Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010, S. 41).

Auch in modellierten Systemen ist es möglich, kausale, konditionale und funktionale „Hypothesen über Systembeziehungen [abzuleiten] und [...] [diese] unter systematisch variierten und kontrollierten Bedingungen“ experimentell zu überprüfen bzw. nachzustellen (Upmeier zu Belzen, 2013, S. 325; Wodzinski, 2010, S. 155; vgl. auch Borgenheimer & Weber, 2009, S. 182; Greefrath & Weigand, 2012, S. 6; Nowak, Nehring, Tiemann & Upmeier zu Belzen, 2013, S. 184; Shute & Glaser, 1990, S. 53; Stark et al., 1995, S. 294; Urhahne, Prenzel, von Davier, Senkbeil & Blaschke, 2000, S. 165 f.)⁷⁸.

Wann sind Modellexperimente Naturexperimenten vorzuziehen? Modelle und Modellexperimente haben den *Vorteil*, die Komplexität der fokussierten Realsysteme zu reduzieren (vgl. Hedewig, 1990, S. 83 f.; Klautke, 1997, S. 328; Meyer, 1990, S. 4, 8; Urhahne & Harms, 2006, S. 360). Indem v. a. die als wesentlich betrachteten, also weniger Variablen als im Originalsystem in den Blick genommen werden (vgl. Borgenheimer & Weber, 2009, S. 182; Otto & Mönter, 2015, S. 6; Upmeier zu Belzen, 2013, S. 327; Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010, S. 42), wird die kognitive Belastung infolge geringerer aufgabenspezifischer kognitive Anforderungen vermindert (vgl. Künsting, 2007, S. 121; Terzer & Upmeier zu Belzen, 2007, S. 35). Gegenüber Experimenten mit Originalen haben Modellexperimente den weiteren Vorteil, weniger aufwändig sowie ungefährlich, ethisch vertretbar, auch für schwer untersuchbare Real-Systeme möglich (vgl. Klautke, 1997, S. 328; Lethmate, 2003, S. 43), effektiver in der Datenverarbeitung, in kurzer Zeit durchführbar sowie beliebig oft reproduzierbar zu sein (vgl. Baumann et al., 2013, S. 306; Dierkes, 2015, S. 8 f.; Greefrath & Weigand, 2012, S. 2 f.; Hedewig, 1990, S. 83 f.; Lunetta et al., 2007, S. 412; Meyer, 1990, S. 4; Otto & Mönter, 2015, S. 5; Pfligersdorffer, 2013, S. 396, 402; Urhahne & Harms, 2006, S. 360).

⁷⁸ Vor diesem Hintergrund ist es fraglich, ob Moisl (1988, S. 6) zuzustimmen sei, welcher den Experimentbegriff ausschließlich auf Realexperimente anwendet, bei denen eine „Frage an die Natur“ (vgl. Puthz, 1988, S. 11) durch die Manipulation *realer* Naturvorgänge beantwortet wird (s. Abschnitt 2.3).

Aus didaktischer Sicht macht die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit anhand von Modellen besonders attraktiv, dass nicht nur – wie bei Realexperimenten – die interne Validität thematisiert werden kann, sondern den Lernenden im Idealfall auch besonders eindrücklich und offensichtlich bewusst wird, dass die gewonnenen Befunde lediglich „Aussagen über das Modell [sind], die erst über Analogieschlüsse zu hypothetischen Aussagen über das Original führen“ (Neupert, 1996, S. 260; vgl. auch Otto & Mönter, 2015, S. 6). In diesem Zusammenhang können *externe und ökologische Validität* mustergültig *reflektiert* und mit expliziter Modellkritik (s. Gropengießer et al., 2010, S. 96 f.) verknüpft werden (s. Abb. 9-6):

- Welche *Störgrößen* des Originalsystems kommen im Modellsystem nicht vor?
- Welche Eigenschaften der *System-Komplexität* (vgl. Rempfler & Uphues, 2011 a, S. 5 ff.) tauchen im Modell nicht auf?
- Welche *methodologischen Ansprüche* hätte ein entsprechendes Experiment im Originalsystem?
- Inwiefern ist die *Aussagekraft* und *Generalisierbarkeit* der Modellexperiment-Ergebnisse begrenzt (vgl. Neupert, 1996, S. 260; Pfligersdorffer, 2013, S. 402)?

Des Weiteren lässt sich anhand von Modellexperimenten das *Modellverständnis* fördern (vgl. Fleige, Seegers, Upmeier zu Belzen & Krüger, 2012 a; Lehrer & Schauble, 2006, S. 372 ff.; Meisert, 2009; Upmeier zu Belzen, 2013, S. 333 f.; Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010, S. 42). So kann u. a. die Fähigkeit trainiert werden, die Adäquatheit des Modellsystems im Hinblick auf das zugrundeliegende Realsystem sowie auf externe Validität kriteriengeleitet zu beurteilen oder gezielt zu optimieren (vgl. Bybee, 1997, S. 159, 162; Bybee, 2006, S. 13; KMK, 2005 a, S. 11, 14, 17; Lehrer & Schauble, 2006, S. 374; Meisert, 2009, S. 426; Mikelskis-Seifert & Leisner, 2004, S. 133; Upmeier zu Belzen, 2013, S. 328 f.; Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010, S. 46 f.). Diese Zielsetzung umfasst verschiedene Kompetenzen, die beim modellbasierten Experimentieren geschult werden können:

- „acquiring information about the entity that is being modelled (from empirical observations and/or from previous knowledge),
- producing a mental model of it,
- expressing that model in an adequate mode of representation,
- testing it (through mental and empirical experimentation), and
- evaluating its scope and limitations“ (Justi, 2009, S. 32, zitiert nach Nehring, Nowak, Upmeier zu Belzen & Tiemann, 2015).

Die didaktische Konzeption, Lernende erfahren und reflektieren zu lassen, dass Naturwissenschaften nicht einfach unveränderliche Wissensbestände akkumulieren, kann beim Forschenden Lernen besonders gut umgesetzt werden. Schülerinnen und Schüler lernen dabei, wie man sich einem Ausschnitt der Wirklichkeit evidenzbasiert immer adäquater annähern kann (vgl. Strobl, 2008 b, S. 80). Die Methode des Experiments bietet sich daher gerade in Zusammenhang mit Modell- und Originalsystemen an, um die Erkenntnisgewinnung mit reflektierten Einsichten in das Wesen der Naturwissenschaften zu verknüpfen. Denn auch der Einsatz von Modellen hilft dabei, die „Konstruiertheit von Wissen“ (Terzer & Upmeier zu Belzen, 2007, S. 34) und andere Aspekte des Wesens der Naturwissenschaften zu verdeutlichen.

Modellexperimente können auf dreierlei Weise realisiert werden: erstens anhand von Simulationen mit dreidimensionalen, also *gegenständlichen Funktions-* bzw. ‚Versuchs‘*modellen* (vgl. Rinschede, 2003, S. 301; Upmeier zu Belzen, 2013, S. 326), zweitens in Form von *computerbasierten Simulationen* (vgl. Greefrath & Weigand, 2012, S. 3; Klahr & Simon, 1999, S. 526; Küsting et al., 2008, S. 6 f.; Leutner, Wirth, Klieme & Funke, 2005, S. 24 f.; Lunetta, Hofstein & Clough, 2007, S. 394; Stäudel, 2010, S. 32) und drittens als „*Gedankenexperimente*“ mit Denkmodellen (vgl. Girwidz, 2009 a, S. 252; Kerschensteiner, 1963, S. 129; Muckenfuß, 1995; Upmeier zu Belzen, 2013, S. 326). Zu den Gedankenexperimenten im weiteren Sinn können auch *paper-and-pencil*-Experimente gezählt werden. Diese werden besonders häufig als Lern- oder Prüfungsaufgaben im Rahmen der Kompetenzförderung (z. B. Baumann, 2014; Stäudel, 2006) oder Kompetenzdiagnostik (z. B. Ehmer, 2008; Mayer et al., 2008) eingesetzt. Baumann (2014, S. 116 ff., 137) beobachtete in ihrer Wirksamkeitsstudie, dass Probanden beim Bearbeiten eines praktischen Experiments größere Lernfreude und mehr Interesse an der experimentellen Erkenntnismethode entwickelten als Versuchspersonen, die hingegen schriftliche Experimentieraufgaben lösten (vgl. ebd., S. 122). Mit realen Objekten und Abläufen zu experimentieren, führt ihren Beobachtungen zufolge zu einer höheren Performanz des Methodenwissens über Experimente und des Selbstkonzepts (vgl. Baumann, 2014, S. 122) als die rein gedankliche Auseinandersetzung mit schriftlichen Aufgaben zum Experimentieren. Andererseits unterscheidet sich die *kognitive Belastung* bei der Auseinandersetzung mit den unterschiedlichen Medien im Rahmen dieser Lernaktivitäten.

Computerbasierte Experimentierumgebungen mit *interaktiven Simulationen* dienen dem dynamischen Problemlösen und können mittlerweile so programmiert werden, dass komplexe dynamische Systeme modelliert sind (vgl. Pfligersdorffer, 2013, S. 396; Vollmeyer & Rheinberg, 1998, S. 15; Wirth & Funke, 2005, S. 55 ff.). Da die Manipulation und die Reaktionen des Systems darauf abgebildet werden, kann man damit das Problemlöseverhalten erfassen und diese Medien insofern anhand der Navigationsdaten auch zur Kompetenzmessung nutzen

(vgl. Abschnitte 5.2 und 5.3). Angesichts der vereinfachenden Modellierung betrachten Stark et al. (1995, S. 290) Simulationen als „ein sinnvolles instruktionales Bindeglied zwischen theoretischem Unterricht und wirklicher Praxis“. Baumann, Simon, Wonisch und Guttenberger (2013) fanden im Rahmen ihrer Studie in der Domäne *Pflanzenphysiologie* (Wasserbilanz) in der 9. Klassenstufe, dass die Effektivität des Aufbaus von Fachwissen durch kognitiv anregend gestaltete Computersimulationen mindestens genauso hoch wie bei Realexperimenten sein (vgl. auch Lunetta, 1998, S. 259; Lunetta et al., 2007, S. 421; Schanze & Saballus, 2011, S. 522) und bei Jungen sogar zu einer nachhaltigeren Behaltensleistung führen kann (vgl. auch Urhahne, Prenzel, von Davier, Senkbeil & Bleschke, 2000, S. 161). Allerdings zeigten manche Versuchspersonen Schwierigkeiten bei der Transformation der Befunde auf die Realität (vgl. Baumann et al., 2013, S. 308).

Zur Förderung bzw. Messung der experimentellen Problemlösefähigkeit (vgl. Tab. 5-1), als Methode zum Wissenserwerb oder zum Training systemischen Denkens werden Computersimulationen in der Unterrichtsforschung inzwischen in vielen Kontexten bzw. Domänen eingesetzt: im Zusammenhang mit *fächerübergreifender dynamischer Problemlösefähigkeit* in PISA-Studien (vgl. Wirth & Funke, 2005, S. 56 ff.) ebenso wie in der fachdidaktischen Forschung – etwa bei Eckhardt (2010), Riess und Mischo (2009) in *Biologie*, bei Gößling (2010), Künsting (2007), Thillmann (2007), Zacharia (2005) sowie Zhang, Chen, Sun und Reid (2004) in *Physik*, bei Gößling (2010) in *Chemie*, bei Borgenheimer und Weber (2009) sowie Schreiber, Theyßen und Schecker (2009) in *Technik* (bzw. Elektrophysik) und bei Keselman (2003) in *Geographie* (s. auch Tab. 4-8). Unterrichtlich wird der Computer an deutschen Schulen bislang allerdings vergleichsweise selten genutzt (vgl. Prenzel, Artelt et al., 2007 b, S. 17).

Wie bereits erwähnt ist die Komplexität von Experimenten in virtuellen Umgebungen geringer als bei Realexperimenten (vgl. Bergs & Walpuski, 2011). Zum einen fehlen die Anforderungen durch manuell-technische Operationen, zum anderen werden Vorgänge stark vereinfacht, und bestimmte Kompetenzen wie z. B. genaues Ablesen oder sorgfältiges Arbeiten werden nicht beansprucht. Bergs und Walpuski (2011, S. 519) ziehen angesichts der Stärken und Schwächen computerbasierter Experimentierumgebungen in Betracht, Realexperimente mit Simulationen zu kombinieren, um bei Lernenden „eine umfassende Förderung experimenteller [Denk- und] Arbeitsweisen“ zu erreichen (s. auch Abschnitte 6.3.1.2 und 7.9).

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, inwiefern eine solche Kombination in bestimmten Domänen von besonderer Bedeutung sein könnte. Einen möglichen Hinweis könnte der Befund von Rösch (2015) zur Bedeutung systemischen Denkens in Zusammenhang mit der Förderung domänenaffiner experimenteller Kompetenzen beisteuern (vgl. Abschnitt 7.7.1).

4.11.3 Weitere Medien bei der Förderung experimenteller Kompetenzen

Als Medien zum Kennenlernen, Einüben oder Reflektieren von ausgewählten experimentellen Problemlösestrategien bieten sich neben Organismen, Realobjekten, Messgeräten und technischen Hilfsmitteln sowie interaktiver Simulationssoftware auch Printmedien (wie Schulbücher, Arbeitsblätter, Aufgabenkarten, Übungshefte) bzw. E-Learning-Software und Lernangebote im Internet ohne Simulationen an (vgl. Berck & Graf, 2010, S. 167, 191, 202 ff.; Peter, 2014, S. 61 f.; Vorholzer, 2016, S. 103 ff.). Hier könn(t)en nicht nur Lernaufgaben zum analytischen Problemlösen (vgl. Hartig & Klieme, 2006, S. 139) bereitgestellt (z. B. in Rösch, 2010 b; Rösch, 2012), sondern auch Informationen zur experimentellen Methode (z. B. Epistemologie des Experiments, wissenschaftsmethodische Kompetenzen) vermittelt werden (vgl. Ostwinkel et al., 2015, S. 356). Begleitend werden zu diesen Unterrichtsmedien im Idealfall didaktisch-methodische Kommentare zur Kompetenzförderung angeboten, z. B. in Form von Lehrerbänden oder -handreichungen (vgl. Berck & Graf, 2010, S. 168). Wie auch in Abschnitt 5.3 erläutert (vgl. Tabelle 5-1), unterscheiden sich *paper-and-pencil*-Aufgaben von Lernaktivitäten bei Realexperimenten oder interaktiven Simulationen: zum einen liegt der Fokus i. d. R. lediglich auf einer Komponente experimenteller Problemlösefähigkeit. Zum anderen wird die Interdependenz und das Zusammenwirken verschiedener experimenteller Kompetenzen genauso wenig berücksichtigt wie dynamisches Problemlösen und die dabei erforderlichen selbstregulatorischen Fähigkeiten (vgl. Leutner, Funke, Klieme & Wirth, 2005, S. 17 f.; Leutner, Wirth, Klieme & Funke, 2005, S. 21).

Am Beispiel von *Schulbüchern* als nach wie vor wichtiges und häufig eingesetztes Unterrichtsmedium (vgl. Girwidz, 2009 a, S. 233) sollen einerseits deren Potenzial als kompetenzförderliches Medium und andererseits häufig festgestellte Defizite im Hinblick auf den Aufbau experimenteller Problemlösefähigkeit aufgezeigt werden. Berck (2005, S. 135) ist der Ansicht, dass die „Effektivität von Biologieunterricht wesentlich auch von dieser Entscheidung [der bewussten Wahl einer Schulbuchreihe] abhängt“. Nicht nur Lernende finden darin Informationen und Arbeitsaufträge – viele Lehrkräfte, darunter auch zahlreiche fachfremd unterrichtende (vgl. Berck, 2005, S. 136; Busch & Woest, 2016, S. 270; Scheuer, Kleffken & Ahlborn-Gockel, 2010 b, S. 249), ziehen es zur Vorbereitung und Gestaltung von Lehr-Lernprozessen heran (vgl. Bagoly-Simó, 2014, S. 185; Berck & Graf, 2010, S. 165; Girwidz, 2009 a, S. 235; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012; Muckenfuß, 2010, S. 19; Sadler, 2011, S. 10; Schaal, 2012, S. 118). Auch in Zusammenhang mit Lehrerhandreichungen (vgl. Berck, 2005, S. 138) bzw. unterstützenden didaktisch-methodischen Materialien (z. B. Online-Angebote, CD-Roms) ist zu fragen, inwiefern Lehrkräfte wie Lernende darin qualitativ hochwertige Informationen und Anregungen für die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit und eines angemessenen NOS-Ver-

ständnisses (vgl. Berck & Graf, 2010, S. 166) sowie für deren eigenständige Anwendung erhalten (vgl. Girwidz, 2009 a, S. 233). Analysen (vgl. Girwidz, 2009 a, S. 234; Neumann, 1979, S. 34; Sommer, Priemer & Wirth, 2010 – vgl. Hüttner, 2011, S. 42) attestieren vielen MINT-Schulbüchern, dass v. a. *hands-on*-Experimente nach genauer Anleitung vorherrschen (vgl. Aufdermauer & Hesse, 2006 b; Baumann, 2014, S. 17), anstatt in stärkerem Maß auch kognitive Aktivierung (vgl. Kizil & Kattmann, 2013, S. 191) zu unterstützen⁷⁹. Chinn und Malhotra (2002, S. 213 f.) fordern folgerichtig, dass in Schulbüchern mehr anspruchsvolle Lernaufgaben aufgenommen werden sollten, die ein authentischeres epistemologisches Bild naturwissenschaftlichen Denkens zeichnen würden. So bedürfe es z. B. auch verstärkt der Förderung und Forderung von Strategien, mit komplizierteren Datensätzen und unsicheren Befunden umzugehen – bislang dominierten statt dessen stark vereinfachende, kognitiv wenig herausfordernde Experimentalaufgaben mit eindeutigen Ergebnissen (vgl. ebd., S. 176, 197 ff.).

Erfreulicherweise beinhalten inzwischen viele Biologie-Schulbücher Methodenseiten zum Experimentieren (vgl. Baumann, 2014, S. 15), die z. B. eine schematische Folge experimenteller Hauptphasen ansprechen, wobei auf das hypothetisch-deduktive Verfahren eingegangen wird. Teilweise ist die Darstellung wichtiger konzeptueller Aspekte wie des Kontrollansatzes bzw. die Nennung zentraler Erkenntnisphasen unvollständig (vgl. ebd., S. 15 f.).

Baumann (2014, S. 17) fand, dass in Schulbüchern für Biologie in den unteren Klassenstufen weiterführender Schularten *Kurzzeitexperimente* gegenüber *Langzeitexperimenten* überwiegen (hierfür liegen auch diverse Lehrerhandbücher vor, z. B. Freytag, 2007 a, b). In Anbetracht von Langzeiteffekten, Dynamik und Komplexität vieler biologischer Systeme (vgl. Campbell & Reece, 2006, S. 1447; Rempfler & Uphues, 2011 a, S. 5 ff.) stellt Neumann (1979, S. 11) diesbezüglich fest, dass „Kurzzeitexperimente wesentliche Gebiete der Biologie gar nicht“ erfassen können, dass insofern und auch in anderer Hinsicht zentrale biologische Phänomene und methodologisch relevante Charakteristika biologischer Experimente nicht thematisiert würden (vgl. auch Mayer & Ziemek, 2006, S. 5; Moisl, 1988, S. 6): „Seldom, if ever, were students asked [...] to discuss sources of error and appropriate sample sizes“ (Lunetta, 1998, S. 251). Angesichts dessen, dass „Langzeitexperimente [...] von den Schülern größere Eigenständigkeit in Bezug auf Methode, Datengewinnung und -auswertung“ fordern (Berck & Graf, 2010, S. 171), ist dies auch vor dem Hintergrund der schwach ausgeprägten Kompetenzen selbst älterer Lernender in diesen Bereichen (vgl. Arnold et al., 2013) als kritisch zu betrachten.

⁷⁹ „Rezeptsammlungen“ in „Kochbuch“-Schulbüchern kritisierte bereits vor einem Jahrhundert Kerschensteiner (1963, S. 93 bzw. 90) scharf: „Es sind keine Fragensammlungen, sondern Befehlssammlungen. Es sind nicht Sammlungen von Schwierigkeiten, die den Schüler selbst zu Vermutungen veranlassen, sondern Sammlungen von Anweisungen, die umso sicherer jede Vermutung ausschließen, je peinlicher sie angelegt und je gehorsamer und genauer sie befolgt werden“ (ebd., S. 86). „Welch ein [...] für die Zwecke der logischen Schulung nicht erfreuliches Bild!“ (ebd., S. 88).

Nicht nur für Lehrkräfte, die Naturwissenschaften fachfremd unterrichten, wäre es hilfreich und sinnvoll, in Lehrerhandreichungen Hintergrundwissen bezüglich vorunterrichtlicher Präkonzepte (s. Abschnitte 4.7.1.3 und 4.7.3; vgl. Carey et al., 1989; Hammann & Asshoff, 2014; Hammann et al., 2006; Schauble et al., 1991) und (Fehl-) Strategien von Lernenden im Zusammenhang mit dem Experimentieren zu erhalten (vgl. z. B. Hammann et al., 2006) und wertvolle Impulse für deren Weiterentwicklung zu finden (vgl. Ekler et al., 2015, S. 207).

Vor diesem Hintergrund sind verschiedene *Forschungsfragen* zu klären:

- ob Schulbücher inzwischen die Selbstständigkeit der Lernenden bei der Planung, Durchführung und Auswertung von Schülerexperimenten stärker fordern und unterstützen;
- in welchem Maß sie Informationen zu Aspekten der externen Validität wie Stichprobenumfang, Beobachtungsdauer und Messwiederholungen als anspruchsvollere experimentelle Kompetenzen geben;
- welche Rolle entsprechende experimentelle Kompetenzen in Lernaufgaben spielen, die gerade bei Langzeitexperimenten sowie bei der Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten in komplexen Systemen (z. B. in der Domäne *Ökologie* – s. Abschnitt 6.1.3) von besonderer Bedeutung sind⁸⁰.

Ein weiterer Kritikpunkt wird häufig geäußert: In vielen schulpraxis-orientierten Medien bzw. Werken (z. B. Schulbüchern, Arbeitsblättern, Lehrerhandreichungen, didaktischen Publikationen – z. B. Dearborn, 2003; Freytag, 2007, S. XCIII; Grygier & Hartinger, 2009, S. 12 ff.; Lamberty, 2007; Rinschede, 2003; Sapper & Widhalm, 2001; Sauerborn, 2011; Schneider, Hruby & Pentzien, 2010) ist eine *unsaubere Verwendung des Experiment-Begriffs* zu beobachten, wenn dieser auf zahlreiche handlungsorientierte „experimentelle“ Arbeitsformen, Lehr- und Lernaktivitäten jeglicher Art ausgeweitet wird (vgl. auch Barzel, Reinhoffer & Schrenk, 2012, S. 111; Mayer, 2004, S. 97; Meyer, 1987, S. 316; Moisl, 1988, S. 6; Otto & Mönter, 2015, S. 4; Schrenk, 2012, S. 5 f.; Wellnitz & Mayer, 2013, S. 316; Wodzinski, 2010, S. 155 f.), obwohl diese die strengen Kriterien naturwissenschaftlicher Experimente i. e. S. nicht erfüllen (s. Abschnitt 2.1; vgl. Lethmathe, 2003, S. 42 f.; 2006, S. 5). Dies erfüllt das Kriterium guter Schulbücher nicht, das besagt, dass „Schlüsselkonzepte verständlich und fachlich richtig ein[zuf]ühren“ seien (Gropengießer, 2013 b, S. 393). Auch hat sich gezeigt, dass in zahlreichen so genannten „Methodenheften“ (z. B. Barmeier, Beck, Bergau, Ciprina, Grob, Hell et al.,

⁸⁰ Hierzu zählen z. B. Langzeitbeobachtung, Messzeitpunkte, Messwiederholungen, Bewusstheit und Berücksichtigung von Störgrößen (vgl. Arnold, Kremer & Mayer, 2014, S. 85, 89).

2007, S. 34 ff.; Baurle, Barmeier, Boldt, Gietz, Heitland, Hell et al., 2007, S. 32 f.) weder den Ausführungen zum Experimentieren eine klare Begriffsdefinition zugrunde liegt, noch besonders nützliche Hinweise zur Schulung kognitiv anspruchsvollerer wissenschaftsmethodischer experimenteller Fähigkeiten gegeben werden. Lethmate (2003, S. 42; 2006, S. 7 f.) kritisiert diese ‚Verwässerung‘ des Methodenverständnisses aufs Schärfste (vgl. auch Fischer, 2010, S. 423): Wie Neumann und Stender (2013, S. 59 f.) zeigen konnten, spielt die explizite, theoretisch fundierte Konstruktion von Begriffen eine zentrale Rolle für deren Verständnis und ist sogar noch wichtiger als Handlungs- und Problemorientierung beim Begriffslernen:

*„Alles Denken wird um so exakter,
je eindeutiger die Begriffe formuliert sind,
mit denen es operiert“*
(Kerschensteiner, 1963, S. 99)

Die Verwendung von „Versuch“ und „Experiment“ als Synonyme wird besonders häufig beobachtet (z. B. bei Blaseio, 2010; vgl. Amthor, 2006, S. 38; Freytag, 2007, S. XCIII; Hedewig, 1990, S. 82 f.; Killermann et al., 2008, S. 147; Otto & Mönter, 2015, S. 4; Schaffer & Pfeifer, 2011, S. 10; Schulz, Wirtz & Starauschek, 2012, S. 16) und z. T. auch von Fachdidaktikern akzeptiert (z. B. von Falkenhausen, 1971, S. 109; Girwidz, 2009 a, S. 245) oder gar in der Referendarsausbildung gut geheißen (vgl. Wagener, 1982, S. 425). Überraschenderweise stellen Berck und Graf (2010, S. 168) die Frage in den Raum, ob es überhaupt von praktischer Bedeutung sei, zwischen den Bezeichnungen „Experiment“, „Versuch“ und evt. sogar weiteren experimentellen Arbeitsformen (vgl. Lethmate, 2006) in der Schulpraxis zu unterscheiden, und ob die Lernenden zu dieser abstrakten begrifflichen Differenzierung überhaupt in der Lage seien (vgl. auch Löwe, 1990, S. 267 f.). Angesichts dessen, dass ein exaktes, adäquates Begriffsverständnis die Vorgehensweise beim Experimentieren beeinflusst (vgl. Schauble et al., 1991) und bereits Grundschüler die Logik ‚fairen Testens‘ verstehen können – also die Notwendigkeit von Kontrollansätzen und der Variablenkontrolle – (vgl. Abschnitt 4.7.1.1), muss die Antwort im Hinblick auf die methodologisch angemessene Anwendung und eine korrekte begriffliche Abgrenzung der Denk- und Arbeitsweisen zugunsten einer eindeutigen, standardisierten Definition (vgl. Mietzel, 2007, S. 277 f.) und somit einer klaren, konsistenten begrifflichen Differenzierung der verschiedenen Erkenntnismethoden ausfallen (vgl. auch Brezmann, 2004, S. 7, 53; von Falkenhausen, 1971, S. 110; Heinzl, 1990, S. 94, 96; Kerschensteiner, 1963, S. 101; Klautke, 1990, S. 78; Lethmate, 2006, S. 9 f.; Knickmeier, 2009, S. 24; Lunetta et al., 2007, S. 396; Mayer, 2004, S. 97; Muckenfuß, 1995, S. 338; Pfeifer, 2010, S. 17; Schulz, Wirtz & Starauschek, 2012, S. 16; Sprenger & Otto, 2014, S. 268; Zech, 2002, S. 257). Wie Merzyn (2015, S. 5) mit Blick auf verschiedene Studien konstatiert, stellt die adäquate Konzeptualisierung von naturwissenschaftlichen Begriffen eine große Herausforderung für Ler-

nende dar. Umso mehr macht es Sinn, diese durch einen klaren, elaborierten Gebrauch von Begriffen durch die Lehrpersonen darin zu unterstützen (vgl. Wellnitz & Mayer, 2013, S. 317).

Ein weiteres Argument für die konsistente Herausarbeitung des Experiment-Begriffs ergibt sich durch den *integrierten Naturwissenschaftsunterricht* in Form von *Fächerverbänden* bzw. das Nebeneinander naturwissenschaftlicher Fächer in der Schule (vgl. Busch & Woest, 2016, S. 269; Kremer, 2012, S. 18, 23): Der übrigens auch im Bildungsplan geforderte (vgl. MKJS, 2004, S. 96) gemeinsame Gebrauch einheitlicher Begriffe kann Verstehensprozesse begünstigen (vgl. A Campo, Langlet, Kremer & Philipp, 2004, S. IV f.; LISA, 2003, S. 8; Zech, 2002, S. 256 ff.). Obgleich eine große etymologische Nähe zwischen „Experiment“ und „Versuch“ besteht – der Wortstamm von „Experiment“ bedeutet „Versuch, Probe, Erfahrung“ (Puthz, 1988, S. 11; vgl. Abschnitt 2.1) – und diesbezüglich im anglo-amerikanischen Sprachraum terminologisch nicht unterschieden wird (vgl. Berck & Graf, 2010, S. 168), erscheint es sinnvoll hervorzuheben, dass die Prüfung von Hypothesen zu Ursache-Wirkungszusammenhängen mindestens Ansatzpaare mit Variablenkontrolle und systematischer Variation isolierter unabhängiger Variablen erfordert und somit nur im Rahmen eines *Experiments* möglich ist. „Versuche“ hingegen können Kausal-Hypothesen weder überprüfen noch mitteilen (vgl. Muckenfuß, 1995, S. 338), weil sie keine experimentell Kontrolle integrieren (vgl. Schulz, Wirtz & Staraschek, 2012, S. 27). Vielmehr dienen sie primär der Erfahrungsstiftung, der Illustration von Erscheinungsformen und der phänomenologischen Begegnung mit Naturwissenschaft im Alltag (s. Abschnitt 2.1; vgl. Muckenfuß, 1995, S. 338).

Abgrenzungswissen (vgl. Ehmer, 2008, S. 39 f.) kann beim Aufbau eines angemessenen Experiment-Konzepts helfen, indem eine Übergeneralisierung des Begriffs vermieden wird: Es kommt ergo darauf an, wesentliche, also charakteristische Eigenschaften von Experimenten und notwendige Bedingungen für Experimente herauszuarbeiten (vgl. Parchmann et al., 2011, S. 260; Zech, 2002, S. 260 ff., 279). Graf (2015, S. 171) spricht diesbezüglich von „einer Auswahl kritischer Attribute“, Dubs (2009, S. 167) von „konstituierenden“ Merkmalen (vgl. Abschnitt 2.1), die sich von „negativen Beispielen“ klar abheben müssen (vgl. ebd., S. 169).

In der Orientierungsstufe durchlaufen die meisten Heranwachsenden eine Phase intensiver kognitiver Entwicklung, die für die Ausbildung bzw. Weiterentwicklung bestimmter experimenteller Kompetenzen sehr fruchtbar ist (vgl. Schneider, Bullock & Sodian, 1998, S. 70 f.) und – bei adäquater Herangehensweise – hervorragend für die Förderung dieser Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit genutzt werden kann (vgl. Ehmer, 2008; Grube & Mayer, 2010, S. 161 f.). In Anbetracht der Notwendigkeit, experimentelle Problemlösefähigkeit infolge der unterschiedlichen Komplexität ihrer Komponenten und der kognitiven Entwicklung der Lernenden über die Klassenstufen im Rahmen eines Spiralcurriculums aufzubauen

(s. Abschnitte 3.3 und 4.7.1.1; vgl. Mayer & Ziemek, 2006, S. 5 f.; Meyer, 1978, S. 25; Moisl, 1988, S. 10), spielt gerade die Orientierungsstufe eine wichtige Rolle: Hier gilt es, die Ausgangsbasis für anschlussfähiges kumulatives Lernen zu schaffen. Es zeigt sich, dass z. B. das Verständnis und die eigenständige Berücksichtigung bzw. Nutzung von Kontrollansätzen bzw. der Variablenkontrollstrategie beim offenen Experimentieren nach einem Training von „dem expliziten Verständnis des Experimentierens und dem Verständnis der theoretischen Motivation von Experimenten“ abhängen (Schneider et al., 1998, S. 72). Insofern ist es höchst bedeutsam, ein klares und korrektes Konzeptverständnis vom Experiment, seiner epistemologischen Logik und seinen notwendigen Strategien zu etablieren. Die „klassische Definition“ des Experiments sollte nach Meinung des Verfassers um eine Funktionsbeschreibung (vgl. Graf, 2015, S. 171) ergänzt werden – nämlich die Prüfung von Kausalhypothesen (vgl. Schulz Wirtz & Starauschek, 2012, S. 17).

Nach diesem Exkurs zu Schulbüchern sind schließlich noch *PC-Hardware-Apparate* als technische Hilfsgeräte sowie *Software* beim „Einsatz multimedialer Arbeitstechniken“ (Grimmer, 2007, S. 19) zur Recherche, Datenerhebung, -dokumentation, -verarbeitung oder -darstellung mittels neuer Medien (vgl. ebd., S. 24 ff., 41 ff., 51 ff.) in Verbindung mit Realexperimenten zu nennen.

4.11.4 Lernaktivitäten in Zusammenhang mit Medien

Kognitive experimentelle Kompetenzen können entweder über *dynamisches Problemlösen* in analog oder digital existierenden interaktiven Systemen gefördert werden. Nicht alle Medien gestatten dies. Somit stellt sich die Frage, welche Arbeitsaufträge, die *analytisches Problemlösungen* erfordern, in Zusammenhang mit Medien helfen können, wissenschaftsmethodische Fähigkeiten oder Wissenschaftsverständnis zu trainieren. Neben den in Abschnitt 4.9.7.6 angesprochenen Ideen sollen hier weitere Möglichkeiten aufgezeigt werden.

Eine Herangehensweise, Lernende kognitiv zu aktivieren und explizite Reflexion – idealerweise in kooperativen Sozialformen (vgl. Abschnitt 4.9.9.1) – anzustoßen, bietet sich, indem vorgegebene ausgedachte Experimente hinsichtlich ihrer Aussagekraft und Adäquatheit beurteilt werden sollen (vgl. Stäudel, 2006, S. 193; Wodzinski, 2010, S. 160, 164 f.). Auch können vollständige Experimentieranleitungen verkürzt, um Fehler ergänzt oder Arbeitsschritte als Filmszenensequenz oder Legekärtchen in ihrer Reihenfolge verändert werden, was den Lernenden als „Profis“ zur Kontrolle, Ergänzung oder begründeten Korrektur vorgelegt wird (vgl. Meier & Wellnitz, 2013, S. 10; Stäudel, 2004, S. 5; Stäudel, 2006, S. 193, 206 f.; Wodzinski, 2010, S. 163). Die Vorgabe von Zeichnungen zu Apparaturen bzw. von Beschrei-

bungen der zu vergleichenden Ansätze gestattet Lernenden des Weiteren, in diesem Zusammenhang untersuchbare Forschungsfragen zu generieren und mithilfe des eigenen Vorwissens Hypothesen zu formulieren (vgl. Stäudel, 2006, S. 197; Strobl, 2008 b, S. 97 f.). Fiktive experimentelle Befunde können als Werte oder Grafiken bereitgestellt werden, damit die Lernenden die Interpretation der Daten und die Diskussion der Deutung lernen (vgl. Lunetta, 1998, S. 256). Vorhersagen der Befunde eines Experiments auf der Grundlage des eigenen Vorwissens oder bereitgestellter Statistiken und dafür Begründungen einzufordern, ist ebenfalls möglich. Auf diese Weise können Lernaufgaben mit spezifischer Kompetenzorientierung konstruiert werden (vgl. Friedrich et al., 2016, S. 8 ff.; Hammann, 2006 a, S. 86 f.; Mayer, 2006, S. 25, 28, Venus-Wagner, 2011, S. 428 f.). Hierzu können Lehrkräfte aus zahlreichen naturwissenschaftsdidaktischen Forschungsberichten bzw. Schulleistungsstudien Items nutzen und auf dieser Grundlage entsprechende Lernaufgaben konstruieren (vgl. Stäudel, 2006).

4.12 Domänen zur Förderung experimenteller Kompetenzen

„[...] es ist grundsätzlich zu fragen, ob der Schwierigkeitsgrad eines experimentell zu bearbeitenden Themas auf kognitiver [...] Ebene den Lernvoraussetzungen der Schüler entspricht.“
(Wagener, 1982, S. 429 f.)

Der fachinhaltliche Bereich (z. B. Botanik, Humanbiologie, Ökologie, Mechanik, Optik, Reaktionsenergetik), in dem ein Lehr-Lernprozess angesiedelt ist, wird in dieser Arbeit als „Domäne“ bezeichnet (vgl. Abschnitt 1.4, Box 1-1). Im Sinne von Koenen et al. (2017, S. 3) zeichnet sich der Ansatz des Forschenden Lernens (vgl. Abschnitt 4.9.1) durch so genannte *double-content*-Lernumgebungen aus. Diese sind durch eine „Verschränkung von zwei Inhaltsebenen“ charakterisiert: „Die *learning domain* stellt dabei den Inhalt dar, der primär gelernt werden soll [...]. Die *exemplifying domain* dient dazu diesen Inhalt zu transportieren“. Je nachdem, ob im Rahmen Forschenden Lernens primär die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit intendiert wird oder aber bestimmte Fachwissensinhalte durch die Anwendung bereits bekannter Denk- und Arbeitsweisen erarbeitet werden sollen, stellen experimentelle Kompetenzen entweder die *learning domain* oder aber die *exemplifying domain* dar.

Einerseits könnte man vermuten, dass viele Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit alle MINT-Fächer gleichermaßen betreffen oder doch zumindest innerhalb jeder Naturwissenschaft vonnöten, also *domänenübergreifend*, *domänenunspezifisch* seien. Als eine solche

domänenübergreifende experimentelle *Kompetenz* wird – zumindest in der Theorie – die Variablenkontrollstrategie betrachtet (vgl. Schwichow et al., 2016, S. 220, 234; Siler & Klahr, 2015, S. 2). Allerdings zeigten manche Studien, dass sich der konkrete Kontext (und damit u. U. auch die Domäne) durchaus auch hier auf die Performanz in Leistungstests auswirken kann (vgl. Nehring et al., 2015; Schwichow et al., 2016, S. 220; Stauvermann, 2008): Überzeugungen, Einstellungen und Vorwissen zum Inhaltsbereich können die Performanz in entsprechenden Items beeinflussen (vgl. Schwichow et al., 2016, S. 232).

Andererseits leuchtet ein, dass sich die in verschiedenen Domänen betrachteten Systeme z. B. hinsichtlich der Dauer von Veränderungen der abhängigen Variablen, des Umgangs mit Organismen im Vergleich zu unbelebten Objekten und der systemaren Komplexität unterscheiden (vgl. Moisl, 1988, S. 6; s. Tab. 4-10). Hieraus resultieren *domänenspezifische* bzw. *domänenaffine* Anforderungen (vgl. Gebhard et al., 2017, S. 57; Hartig & Klieme, 2006, S. 129 f.; Klieme & Hartig, 2008, S. 14) an *experimentelle Problemlösefähigkeit*.

Domänenspezifische bzw. -affine experimentelle Kompetenzen können besonders herausfordernd sein: zum einen aufgrund nötigen anspruchsvolleren Domänenwissens, zum anderen aufgrund besonderer kognitiver Anforderungen, z. B. was das Verständnis von Validitätskriterien betrifft (vgl. Kauertz et al., 2010; Schwichow et al., 2016, S. 233).

Wer experimentelle Problemlösefähigkeit fördern möchte, orientiert die Entscheidung bezüglich der konkreten Domäne ergo an den als *Zielkriterien* (s. Abschnitt 4.2) fokussierten experimentellen Kompetenzen: bestimmte Fähigkeiten sind an spezifische Inhaltsbereiche gebunden, während andere wiederum unabhängig von der betrachteten Domäne sind. Gerade bei den domänenübergreifenden experimentellen Kompetenzen stellt sich außerdem die Frage, ob ihre Förderung in manchen Domänen u. U. besser gelingt, weil die volle Aufmerksamkeit und der für das Lernen effektiv zur Verfügung stehende *germane load* des Arbeitsgedächtnisses (vgl. Koenen et al., 2017, S. 2; Unterbruner, 2007, S. 156) dort relativ hoch ist. Dies ist dann möglich, wenn sich die kognitive Belastung durch die *Komplexität von Domäne und Lernkontext* in Grenzen hält.

Hier besteht ein nicht zu unterschätzender Forschungsbedarf: Welche Domänen (und Lernkontexte) sind angemessen und bewähren sich zu effektiven Förderung der jeweils besonders interessierenden Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit? In Abschnitt 4.13.4 wird aufgezeigt, dass für manche naturwissenschaftlichen Domänen kaum Erkenntnisse vorliegen.

4.13 Synopse wichtiger Studien zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit

Um ein Bild bisheriger Forschungsbemühungen zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit und der dabei gewonnenen Erkenntnisse zu erhalten, wurde in dieser Arbeit eine Vielzahl an Studien betrachtet, von denen in den vorausgehenden Abschnitten bereits vielfach berichtet wurde. Nachdem schon auf Zielkriterien und Bedingungsfaktoren der Förderung experimenteller Kompetenzen eingegangen worden ist (vgl. Abschnitte 4.2 und 4.4 bis 4.10), gibt nun dieser Abschnitt der Arbeit zusammen mit Tabelle 4-8 einen Überblick über einige besonders wichtige Studien. In den folgenden Abschnitten werden bestimmte Aspekte jener Arbeiten fokussiert und deskriptiv-statistisch analysiert, um weitere Forschungsdesiderate angesichts einseitiger oder unzulänglicher Unterrichtsforschung abzuleiten.

Die untersuchten Studien sind nicht nur hinsichtlich effektiver unterrichtlicher Treatments zum Training experimenteller Kompetenzen interessant (s. Abschnitte 4.3, 4.9 bis 4.12): Wenn man *Klassenstufen, Schularten, Domänen* sowie die *Art des Experimentierens im Rahmen dynamischen Problemlösens* analysiert, ergeben sich darüber hinaus auch Hinweise auf mögliche Kriterien, die bislang eher vernachlässigt wurden bzw. auf Studien, bei denen die externe Validität und somit Generalisierbarkeit von Befunden u. U. begrenzt ist. Die in Tabelle 4-8 aufgeführten Studien (bzw. Projekte, über die mehrere Publikationen berichten) sind selbstverständlich lediglich eine exemplarische, jedoch nicht zwangsläufig repräsentative Stichprobe sämtlicher Arbeiten, die hier nicht vollständig referiert werden können.

Tab. 4-8. Studien zur Förderung (bzw. Diagnose) experimenteller Kompetenzen (Auswahl)

Autor(en)	Klasse(n)	Schulart	Domäne(n)	Art d. Exp.
Arnold (2015), Arnold und Kremer (2012), Arnold et al. (2013), Arnold et al. (2015), Arnold et al. (2016)	11.	GYM	BIO: Enzymatik	RealExp
Asmussen (2007)	3./4.	GS	PHY: Optik u. a.	RealExp
Baumann (2014)	6./7.	GYM	PHY: Wärmelehre: Isolation	RealExp
Baumann et al. (2013)	9.	SEK I	BIO: Pflanzenphysiologie: Wasserbilanz	PCSim
Bergs und Walpuski (2011)	8.	GYM	CHE: Säure & Base; PHY: Mechanik: Auftrieb	RealExp, PCSim

Blumberg et al. (2008)	3.	GS	PHY: Mechanik: Auftrieb	RealExp
Borgenheimer und Weber (2009)	9.	HS	PHY: Elektrizitätslehre: Schaltungen, URI	PCSim
Burns und Vollmeyer (2002)	Stud.	UNI	CHE: Stoffgemische: Wasserqualität	PCSim
Carey et al. (1989)	7.	SEK I	BIO: Mikrobiologie: Hefegärung	RealExp
Chen und Klahr (1999)	2. – 4.	GS	PHY: Mechanik: Federverformung, Hangabtriebskraft, Auftrieb	RealExp
Dunbar (1993)	Stud.	UNI	BIO: Molekulargenetik	PCSim
Eckhardt (2010), Eckhardt et al. (2009), Eckhardt et al. (2013)	8.	RS	BIO: Ökologie: Gewässerökologie	PCSim
Ehmer (2008)	6.	GYM	BIO: Humanphysiologie: Pulsfrequenz; Mikrobiologie: Hefegärung	RealExp, SchrAufg
Fürniss und Friedrich (2012)	12.	GYM	CHE: Säuren	RealExp
Ganser und Hammann (2009 b) (bzw. Ganser et al. in Lücken und Schroeter, 2008)	5. – 8.	GYM, HS, RS	BIO: Humanbiologie: Ernährung (Vitamine), Physiologie (Pulsfrequenz), Lebensmitteltechnologie (Milchprodukte)	RealExp
Gleason und Schauble (2000)	9 – 12 Jahre	GS bzw. SEK I	PHY: Mechanik: Hydrodynamik	RealExp
Goldstein und Puntambekar (2004)	6.	MS	PHY: Mechanik: Kräfte (Flaschenzug, Hebel, ...), Arbeit	RealExp (?)
Gößling (2010)	9.	GYM, HS, RS	CHE: Säuren & Basen; PHY: Mechanik: Auftrieb	PCSim
Grimmer (2007)	11.	GYM	BIO: Stoffwechsel: Enzymatik	RealExp
Grygier (2008)	4.	GS	BIO: Mikrobiologie: Hefegärung; PHY (+ BIO): Optik: Strahlengang, Schatten, optische Täuschungen	RealExp
Henke (2016)	8.	GYM	PHY: Elektrostatik	RealExp
Hmelo-Silver et al. (2002)	Stud., Profis	UNI, BPr	BIO: Pathologie: Krebsforschung	PCSim
Hof (2011)	7.	GYM	BIO: Pflanzenphysiologie: Fotosynthese, Zellatmung	RealExp
Holst (2005)	3./4.	GS	PHY: Optik u. a.	RealExp

Hummel und Randler (2012)	5./6.	GYM, RS	BIO: Verhaltensbiologie	RealExp
Keselman (2003)	6.	MS	GEO: Tektonik: Erdbeben	PCSim
Khishfe und Abd-El-Khalick (2002)	6.	SEK I	CHE / PHY: Löslichkeit, Aggregatzustände, Wärmelehre, Oxidation	RealExp
Klahr und Nigam (2004)	3./4.	GS	PHY: Mechanik: Hangabtriebskraft	RealExp
Koenen et al. (2017)	6.	GYM	CHE/PHY: Stoffeigenschaften: Stofftrennung, Löslichkeit, Dichte, Oberflächenspannung	RealExp
Kremer und Schlüter (2008)	4. bzw. 8.	GS bzw. SEK I	BIO: Ökologie: natürliche Gewässerreinigung	RealExp
Künsting et al. (2008)	8. – 10.	GYM, HS, RS	PHY: Mechanik: Auftrieb	PCSim
Kuhn et al. (1992)	4. bzw. 5. – 7.	GS bzw. MS	PHY: Mechanik: Hydrodynamik, Geschwindigkeit, Bewegungen	RealExp bzw. PCSim
Lugeder (2010), vgl. Fischer (2010)	5.	RS	BIO: Pflanzenphysiologie (Keimung), Mikrobiologie: Hefegärung	RealExp
Maiseyenko (2014)	7./8.	GYM, GesS	PHY: diverse, unterschiedliche Themen	RealExp
Meier und Mayer (2012), Meier und Wellnitz (2013), Meier und Wulff (2012)	7./9.	GYM ⁸¹	BIO: Verhaltensbiologie: Fototaxis; Zoophysio-logie: Pulsfrequenz	RealExp
Möller et al. (2002), Grygier et al. (2008)	3.	GS	BIO / PHY: Humanbiologie: Akustik / Hörsinn; PHY: Mechanik: Auftrieb	RealExp
Neber und Anton (2008 a, b)	10.	GYM	CHE: Löslichkeit: Wasserhärte	RealExp, SchrAufg
Peter (2014)	6./7.	GesS, RS	GEO: Physische Geographie: Süß-/Salzwasserphänomene	RealExp
Rincke et al. (2011)	7. – 9.	GesS	PHY: Elektrizitätslehre; Mechanik	RealExp (Video)
Rumann (2004)	7.	GYM	CHE: Säuren & Basen	RealExp
Schauble (1996)	5./6. bzw. Erwachs.	SEK I	PHY: Mechanik: Auftrieb, Hydrodynamik	RealExp

⁸¹ vgl. Meier und Mayer (2012)

Schauble et al. (1991)	5./6.	SEK I	PHY: Mechanik: Auftrieb, Hydrodynamik	RealExp
Schmidt und Möller (2015)	8./9.	GYM	BIO: Pflanzenphysiologie: Fotosynthese	RealExp, SchrAufg
Schreiber et al. (2009)	10./12.	GYM	PHY: Elektrizitätslehre: Schaltungen, URI	PCSim
Schwichow et al. (2015)	8.	GYM	PHY: Elektrizitätslehre: Leitfähigkeit; Wärmelehre: Aggregatzustände, Strahlungswärme; Elektromagnetismus; Mechanik: Pendelbewegungen	RealExp
Shute und Glaser (1990)	Stud.	UNI	BWL: Marktwirtschaft / Mikroökonomie	PCSim
Siler und Klahr (2015)	6./7.	MS	PHY: Mechanik: Raketenkonstruktion (fiktiv), Kräfte und Bewegung; PSY: Lernpsychologie: Behaltensleistung	PCSim
Sodian et al. (2002)	4.	GS	BIO: Mikrobiologie: Hefegärung	RealExp
Stark et al. (1995)	2./3. LJ	BS	BWL: Marktwirtschaft	PCSim
Steigert und Schrenk (2012)	5./6.	RS	BIO: Pflanzenphysiologie: Fotosynthese, Wasserhaushalt	RealExp
Thillmann et al. (2009)	9.	GYM	PHY: Mechanik: Auftrieb	PCSim
Vollmeyer et al. (1996)	Stud.	UNI	BIO: Ökologie: Biology-Lab	PCSim
Vorholzer (2016)	11.	GYM	PHY: Mechanik: Freier Fall, Wurf, Druck in Flüssigkeiten	RealExp
Wahser (2007)	7.	GYM	CHE: Säuren & Basen	RealExp
Walpuski (2006)	7.	GYM	CHE: Säuren & Basen	RealExp
Wichmann und Leutner (2009)	10.	GYM	BIO: Pflanzenphysiologie: Fotosynthese	PCSim
Wu und Hsieh (2006)	6.	MS	PHY: Mechanik: Geschwindigkeit; Elektromagnetismus	RealExp
Zhang et al. (2004)	8.	SEK I	PHY: Mechanik: Auftrieb	PCSim
Zhang et al. (2015)	9.	JHS	GEO: Jahreszeiten	PCSim

Anmerkungen. Sind mehrere Referenzen in einer Zeile angegeben, so beziehen sich diese auf dasselbe Forschungsprojekt. Art d. Exp.: Art des Experimentierens (s. u.). BIO: Biologie. BPr: Berufspraxis. BS: Berufsschule. BWL: Betriebswirtschaftslehre. CHE: Chemie. Erwachs.: Erwachsene. GEO: Geographie. GesS: Gesamtschule. GS: Grundschule. GYM: Gymnasium. HS: Hauptschule. JHS: Junior High School. k. A.: keine Angabe. Klasse(n): Klassenstufe(n). LJ: Lehrjahr (Ausbildung). MS: Middle School. PHY: Physik. Profis: in ihrem Beruf praktizierende Fachleute. PCSim: Computersimulation. PSY: Psychologie. RealExp: Realexperimente. RS: Realschule. SchrAufg: *paper and pencil*-Aufgaben. SEK I: Sekundarstufe I (5. – 10. Klassenstufe, keine näheren Angaben zu Klassenstufe bzw. Schulart). Stud.: Studierende. UNI: Universität bzw. College. URI: Spannung, Widerstand, Stromstärke.

Einige der in Tabelle 4-8 referierten Studien nehmen mehrere Schularten bzw. -stufen oder Inhaltsbereiche in den Blick. Daher wurden entsprechende Publikationen in den folgenden statistischen Ausführungen z. T. mehrfach miteinbezogen, was u. U. zu einem Summenwert der kumulierten Prozentsätze über 100 % führen kann.

4.13.1 Art der Lernaktivitäten in Zusammenhang mit Experimentieren

In 41 (= 69,5 %) und damit den meisten der insgesamt 59 (100,0 %) in Tabelle 4-8 wiedergegebenen Studien standen *Realexperimente* im Zentrum der jeweiligen Treatments. *Computerbasierte Simulationen* spielten in 20 (= 33,9 %) Arbeiten eine Rolle. Nur in zwei Studien (= 3,4 %) wurden Realexperimente und digitale Simulationen miteinander *kombiniert*. In lediglich drei Studien (= 5,1 %) ergänzten Lernaktivitäten mit schriftlichen Formaten die Realexperimente (z. B. Ehmer, 2008)⁸². Dies verdeutlicht, dass Primärerfahrungen, die Originalbegegnung mit Realien und lebenden Organismen, die Förderung psychomotorischer Kompetenzen sowie der Umgang mit Substanzen und Geräten trotz Einzugs neuer, digitaler Medien in den Naturwissenschaftsunterricht (vgl. Berck & Graf, 2010, S. 197 ff.; Lehnert & Köhler, 2012 b, S. 165 ff.) weiterhin große Wertschätzung erfahren und nicht wegzudenken sind. Gleichzeitig zeigt sich, dass sich durch computergestützte Simulationsexperimente weitere Möglichkeiten eröffnen, experimentelle Problemlösefähigkeit zu trainieren und zu messen, die z. T. einige Vorteile aufweisen (s. Abschnitte 4.11.2 und 5.3; vgl. u. a. Baumann et al., 2013; Urhahne & Harms, 2006).

4.13.2 Orte des formalen Lernens

Von den insgesamt 59 (= 100 %) referierten Forschungsprojekten waren 53 (= 89,8 %) in *Schulen* und 6 (= 10,2 %) in *Universitäten* (5 = 8,5 %) bzw. in *berufsbezogenen Ausbildungsstätten* (1 = 1,7 %) angesiedelt. Lediglich eine Studie (1,7 %) bezog *Berufspraktiker* mit ein. Dies verdeutlicht, dass sich die naturwissenschaftsdidaktische Lehr-Lern-Forschung hinsichtlich der Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit und damit verbundener Kompetenzen in erster Linie auf schulische Lehr-Lernprozesse konzentriert, also v. a. Unterrichtsforschung i. e. S. betreibt. Dass die meisten der hier angesprochenen Studien signifikante treatmentbedingte Performanzzuwächse zeigten, bringt gleichzeitig zum Ausdruck, dass die in den Bildungsstandards (vgl. KMK, 2005 a; MKJS, 2004) aktueller Bildungspläne geforderten Kompetenzen für die entsprechenden Altersstufen prinzipiell angemessen sind.

⁸² vermutlich wurden auch in weiteren Studien schriftliche Übungsanteile realisiert.

4.13.3 Untersuchte Schulstufen und Schularten

Betrachtet man die 53 (= 100,0 %) schulischen, also nicht berufspraxis-, ausbildungs- oder studiengangsbezogenen, Studien im Hinblick auf die Zielgruppen in verschiedenen *Schulstufen*, so ergibt sich folgendes Bild: 11 (= 20,8 %) der Studien betreffen Grundschulen (Primarstufe), 41 (77,4 %) die Sekundarstufe I sowie 5 (9,4 %) die Sekundarstufe II ab der elften Klassenstufe (früher „Oberstufe“, heute „Kursstufe“ genannt). Hier lässt sich folglich ein Schwerpunkt in der Sekundarstufe I erkennen. In der Grundschule wurden bis auf eine Ausnahme (Chen & Klahr, 1999) Probanden untersucht, die mindestens die 3. Klassenstufe besuchten. In dieser Stichprobenwahl spiegeln sich ergo empirische Befunde aus der Entwicklungspsychologie in Zusammenhang mit der kognitiven Entwicklung (s. Abschnitt 4.7.1.1), also bezüglich der Ausprägung bestimmter kognitiver Fähigkeiten wieder, die experimentelle Problemlösefähigkeit bzw. interessierende Komponenten davon voraussetzt bzw. voraussetzen.

Innerhalb der *Sekundarstufe I* verteilen sich die insgesamt 41 Studien (= 100,0 %) mit 25 (= 60,1 %) auf die so genannte Unterstufe (5. bis 7. Klassenstufe, hier mit 17 = 41,5 % v. a. in der 5. bzw. 6. Klassen der so genannten Orientierungsstufe) bzw. mit 20 (= 48,8 %) auf die Mittelstufe (8. bis 10. Klassenstufe). Hieraus lässt sich ableiten, dass unterschiedlich anspruchsvolle Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit vermutet werden – schließlich umfassen nur wenige Studien Interventionen, die schulstufenübergreifend eingesetzt wurden.

Was die 45 Studien (= 100,0 %) (u. a.) an *weiterführenden Schularten* (Sekundarstufe I und II) *global* betrifft, so untersuchten die meisten (24 = 53,3 %) davon Probanden an Realschulen bzw. Gesamtschulen (von reinen Gymnasien abgegrenzt) bzw. an Schulen in nicht deutschsprachigen Nationen, deren Leistungsniveau nicht näher angegeben war bzw. nicht eindeutig vergleichend eingeschätzt werden kann⁸³. In 25 Studien (= 55,6 %) standen statistisch gesehen besonders leistungsstarke (vgl. Abschnitt 4.5) Versuchspersonen an Gymnasien im Fokus. Lediglich vier Studien (= 8,9 %) nahmen (z. T. auch nur u. a.) Lernende in Hauptschulen in den Blick. Dies bedeutet, dass nur sehr wenige Erkenntnisse zur Förderung besonders leistungsschwacher Lernender vorliegen. Gemäß des Mottos „achieving scientific literacy for all learners“ (Bybee, 1997, S. 46, 69) gilt es jedoch auch, leistungsschwächere Lernende besser zu unterstützen (vgl. Schiepe-Tiska, Schmidtner & Prenzel, 2014, S. 204), als dies

⁸³ Middle Schools, (Junior) High Schools, Gesamtschulen und Schulen der Sekundarstufe I ohne nähere Angaben wurden im Rahmen der Statistik dieses Absatzes als den Realschulen äquivalent aufgefasst. Gesamtschulen setzen sich aus einer gemischten Schülerschaft zusammen, woraus vermutlich eine im Vergleich zu reinen Gymnasien mittlere Leistungsfähigkeit resultiert.

bislang der Fall ist. Dies sollte in der naturwissenschaftsdidaktischen Unterrichtsforschung künftig mehr beachtet werden.

Betrachtet man unter diesen Studien ausschließlich die 33 (= 100,0 %) in Tabelle 4-8 berücksichtigten Forschungsprojekte aus dem *deutschsprachigen Raum*, so offenbart sich eine ähnlich eindeutige Schwerpunktsetzung fachdidaktischer Unterrichtsforschung zur experimentellen Problemlösefähigkeit: 25 Studien (= 75,8 %), bei denen Gymnasiasten eine zentrale Rolle spielten, stehen lediglich 12 (= 36,4 %) Studien mit Lernenden aus Realschulen, Gesamt- und nicht spezifizierten SEKI-Schulen sowie 4 (= 12,1 %) Studien (u. a.) aus dem Hauptschulbereich gegenüber. An dieser Stelle wird evident, dass Erkenntnisse zur effektiven Förderung experimenteller wissenschaftsmethodischer Kompetenzen im deutschsprachigen Raum hauptsächlich an vergleichsweise leistungsstarken Lernenden (vgl. Befunde aus diversen Schulleistungsvergleichsstudien; s. auch Abschnitt 4.5 sowie z. B. Mayer, Grube & Möller, 2008, S. 75; Schulz, Prinz & Wirtz, 2012, S. 351) aus Gymnasien gewonnen wurden.

Bei Studien, die nicht Treatment-Effekt-Unterschiede zwischen Probanden verschiedener Schularten vergleichen, kann jedoch keinerlei Aussage getroffen werden, ob die evaluierten Unterrichtskonzepte auch leistungsschwächere Lernende zu fördern vermögen. Angesichts leistungsheterogener Lerngruppen mit der Notwendigkeit zur Binnendifferenzierung und Schularten mit Lernenden, die tendenziell mehr Förderbedarf haben, besteht insofern ein großes schulisches Interesse, dass zum einen die an Gymnasien erprobten Konzepte auch an Real- und (Werk)haupt(real)schulen oder an Sonderschulen für Lernende mit besonderem Förderbedarf geprüft und gegebenenfalls zum anderen für solche Zielgruppen effektivere Lehr-Lernprogramme gefunden werden. Hieraus ergibt sich dementsprechend ein Desiderat der fachdidaktischen Unterrichtsforschung.

4.13.4 Fachinhaltliche Domänen

Ein Blick auf die unterrichtlich behandelten Themen in Tabelle 4-8 bzw. 4-9 zeigt, dass in der Unterrichtsforschung zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit bislang sehr viele höchst *unterschiedliche Domänen* und zahlreiche Teildisziplinen herangezogen wurden. Manche Inhaltsbereiche sind sehr prominent vertreten, wurden also häufiger in Interventionsstudien untersucht als andere. Hierzu gehören beispielsweise der Lerngegenstand Photosynthese in Biologie, spezielle Themenfelder der Mechanik wie Auftrieb in Physik oder Aspekte in Zusammenhang mit Säuren und Basen in Chemie.

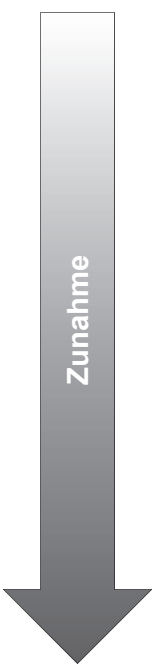
Tab. 4-9. Domänen zur Förderung experimenteller Kompetenzen

Fachbereich	Teildisziplin	ggf. Spezifizierung	Anzahl (Studien)	
<i>Biologie</i> (gesamt: 28)	Enzymatik	-	2	
		Pflanzenphysiologie	Wasserbilanz	2
			Fotosynthese	4
			Zellatmung	1
			Keimung	1
	Molekulargenetik		-	1
	Humanbiologie	Pulsfrequenz	2	
		Visuelle Wahrnehmung	1	
	Mikrobiologie	Hefegärung	5	
	Ökologie	Gewässerökologie	2	
		Biology-Lab	1	
	Ernährung	Vitamine	1	
	Lebensmitteltechnologie	Milchprodukte	1	
	Pathologie	Krebsforschung	1	
	Verhaltensbiologie	Tierisches Verhalten	2	
Zoophysiologie	Pulsfrequenz	1		
<i>Physik</i> (gesamt: 44)	Optik	-	3	
	Akustik	Hören (theoret. auch zu BIO*)	1	
		Wärmelehre	Isolation	2
	Aggregatzustände		2	
	Strahlungswärme		1	
	Mechanik		Auftrieb bzw. Dichte	11
		Hangabtriebskraft	3	
		Hydrodynamik	4	
		Federverformung	1	
		Kräfte an Flaschenzug, Hebel, Arbeit	Druck in Flüssigkeiten	1
			Bewegung & Co.	5
		Elektrizitätslehre	Stromkreis, Schaltungen, URI	3
			Leitfähigkeit	1
			Elektromagnetismus	2
			Elektrostatik	1
	,Diverse physikal. Themen‘	-	1	
	<i>Chemie</i> (gesamt: 12)	Säure (& Base)	-	6
		Stoffgemische	Wasserqualität	1
			Stofftrennung	1
		Löslichkeit	(auch Wasserhärte)	3
Chemische Reaktionen		Oxidation	1	
<i>Physische Geographie</i> (gesamt: 3)	Tektonik	Erdbeben	1	
	Astronomie / Klimatologie	Jahreszeiten	1	
		Süß- / Salzwasser	(theoret. auch zu PHY*)	1
<i>BWL</i> (ges.: 2)	Marktwirtschaft	Mikroökonomie	2	
<i>Psychologie</i>	Lernpsychologie	Behaltensleistung	1	
Σ			90	

Anmerkungen. URI: elektrische Spannung, Widerstand, Stromstärke. BWL: Betriebswirtschaftslehre. BIO: Biologie. PHY: Physik. theoret.: theoretisch. *: Zuordnung pro forma in *einer* der möglichen Hauptdomänen. Σ: Summenwert.

In Tabelle 4-9 ist überdies ersichtlich, dass Experimentieren im strengen naturwissenschaftlichen Sinn (planmäßige Manipulation einer isolierten Variablen bei Konstanthaltung von Kontrollvariablen, systematischer Vergleich und logisches Schlussfolgern über Kausalwirkungen auf Grundlage intern valider Befunde; s. Abschnitt 2.1) nicht nur in den Naturwissenschaften gefördert und geübt wird. Methodologisch analog können auch Systeme in Betriebswirtschaftslehre oder Psychologie kausalanalytisch untersucht werden.

Tab. 4-10. Grad der Komplexität bei Experimenten in biologienahen Domänen

Grad der Komplexität	Inhaltbereich	Beispiel
	physikalische Experimente	Strahlengang im Auge (Modellexperiment zu verschiedenen Brennweiten der Linse)
	chemische Experimente	halbquantitative Bestimmung der Stärkemenge in unterschiedlich stark belichteten Laubblättern
	biochemische Experimente	Wirkung von α -Amylase auf Amylose in Nahrungsmitteln (ggf. in Interaktion mit der Temperatur)
	einfache rein biologische Experimente	Schnürungsexperimente an befruchteten Eizellen
	verhaltensbiologische* Experimente	Experimente mit Attrappen bei Fischen
	ökologische* Experimente	Auswirkungen unterschiedlich häufiger Mahd auf die Biodiversität auf einer Grünfläche
	psychologische Experimente ^x	verhaltensbezogene (z. B. Aggressionsverhalten) oder physiologische Effekte (z. B. Pulsfrequenz, Konzentration von Stresshormonen im Blut) unterschiedlicher Stressoren beim Menschen

Anmerkung. *: gegenüber der Reihenfolge bei Moisl (1988, S. 6) wurden diese beiden Domänen getauscht: verhaltensbiologische Aspekte können auch innerhalb ökologischer Experimente eine Rolle spielen, wodurch ökologische Experimente noch komplexer sind als z. B. verhaltensbiologische Laborexperimente. ^x: der Verfasser würde psychologische Experimente unter „verhaltensbiologische Experimente“ subsumieren.

Von insgesamt 90 (= 100 %) der in den in Tabelle 4-8 betrachteten Studien berücksichtigten *Inhaltsbereichen* betrafen 28 (= 31,1 %) biologische Domänen, 44 (= 48,9 %) physikalische Domänen, 12 (= 13,3 %) chemische Domänen, 3 (= 3,3 %) physisch geographische Aspekte (die auch der Physik zugeordnet werden könnten), 2 betriebswirtschaftliche Inhalte und 1 (= 1,1 %) ein psychologisches Themenfeld (s. Tabelle 4-9). Innerhalb des Fachs Biologie stehen in lediglich 4 (14,3 %) der insgesamt 28 (= 100 %) Inhaltsbereiche die von Mayer und Ziemek (2006, S. 5) sowie Moisl (1988, S. 6) als besonders komplex angesprochenen

(vgl. Tab. 4-10; nach Moisl, 1988, S. 6, erweitert und z. T. abgewandelt)⁸⁴ Domänen *Ökologie* und *Verhaltensbiologie* im Fokus. Zwar könnte man auch Inhaltsbereiche anderer Studien per se als experimentell höchst anspruchsvoll zu analysieren betrachten (v. a. auch in der authentischen Forschung, so z. B. Krebsforschung oder Fotosynthese). Allerdings wird deren jeweilige Komplexität in den entsprechenden fachdidaktischen Studien mittels didaktischer Reduktion oder stark vereinfachender Modellierung stark reduziert.

Zusammenfassend ergeben sich auf der Grundlage des in Kapitel 4 berichteten Stands der naturwissenschaftsdidaktischen Unterrichtsforschung diverse Desiderate. In Kapitel 6 werden zum einen Forschungsfragen für die im Rahmen dieser Arbeit referierten Studien des Verfassers abgeleitet bzw. weiter präzisiert (s. Tab. 6-1). Zum anderen wird dort die methodische Vorgehensweise dieser Studien konkretisiert und begründet.

⁸⁴ Schon seit langem wird bemängelt (vgl. Düppers, 1975, S. 198 f.; Neumann, 1979, S. 14 ff., 32), dass gerade hinsichtlich experimenteller Problemlösefähigkeit anspruchsvollere (vgl. Moisl, 1988, S. 6) biologische Domänen wie *Ökologie* und *Verhaltensbiologie* im Unterricht lediglich eine untergeordnete Rolle spielen. Düppers' (1975, S. 198 f.) Erhebung zufolge spielten Langzeitexperimente lediglich eine untergeordnete Rolle im Biologieunterricht.

5 Messung von Kompetenzen experimenteller Problemlösefähigkeit

Herauszufinden, ob Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit in einer bestimmten Zielgruppe bzw. durch eine spezifische Lernumgebung gefördert werden können bzw. wurden, ob also Lehr-Lernprozesse auf der Ebene der gewünschten Zielebene wirksam waren (vgl. Kapitel 4, s. auch Abb. 4.1), bedarf geeigneter Messverfahren, welche die Performanz der Kompetenzen erfassen helfen und deren Bewertung im Rahmen eines Bezugssystems ermöglichen (vgl. Wild & Krapp, 2006, S. 541 ff.). In diesem Kapitel wird zunächst vorgestellt, in welchem Zusammenhang und zu welchem Zweck Messverfahren und -instrumente im Bildungswesen eingesetzt werden. Der daran anschließende Abschnitt setzt sich mit der Entwicklung von Testinstrumenten und Verfahren zur Performanzmessung auseinander. Hierbei wird offensichtlich, wie anspruchsvoll damit verbundene Maßnahmen sind – erst recht im Hinblick auf ein so komplexes Konstrukt wie *Experimentelle Problemlösefähigkeit* (vgl. Kapitel 3). Darauf folgt eine Übersicht über Messverfahren, die bei der Erfassung experimenteller Kompetenzen genutzt werden. Diese Erläuterungen sind im Hinblick auf die Interventionsstudie des Verfassers und auf die Auswahl sowie Adaption bestehender bzw. Neuentwicklung schriftlicher Tests (vgl. Kapitel 6 sowie Rösch, 2015; Roesch et al., 2015 und Rösch et al., 2012) von Bedeutung. In den Ausführungen stehen v. a. deklaratives, prozedurales und konditionales Wissen, wissenschaftsmethodische Fähigkeiten und das *Nature of Science*-Verständnis im Fokus. In jenem Abschnitt werden auch die jeweiligen Eigenschaften sowie Vor- und Nachteile der Methoden beleuchtet. Abschließend wird erörtert, welche der Verfahren sich im schulischen Kontext mehr oder weniger gut eignen: Die Entwicklung und Erprobung von Messmethoden und Test- bzw. Diagnoseinstrumenten geschieht letztlich nicht allein zum Zweck didaktischer Unterrichtsforschung – im Idealfall können diese auch von Lehrkräften genutzt werden.

5.1 Zweck der psychometrischen Untersuchung experimenteller Kompetenzen

Die möglichst genaue, zuverlässige und unabhängige (vgl. Moosbrugger & Kelava, 2007 a, S. 8 ff.) *Feststellung der Performanz* von Kompetenzen⁸⁵, also die *Messung von Merkmalsausprägungen* bestimmter Variablen (vgl. Beller, 2008, S. 23 f.; Bühner, 2011, S. 27) ist im Zusammenhang mit Bildungsprozessen seit jeher bedeutsam. Die damit zusammenhängen-

⁸⁵ zur terminologischen Unterscheidung: s. Meyer (2007, S. 147).

den *Funktionen* sind sehr variabel und vom Einsatzbereich abhängig. So kann die Erhebung von interessierenden Daten u. a. in folgenden Zusammenhängen erfolgen (vgl. auch Wild & Krapp, 2006, S. 529 ff.; s. Abschnitt 1.5):

- *Diagnose des individuellen Lernstandes* als Grundlage für Beratung bzw. die Konzipierung von *Förderplänen* (vgl. Martinez, 1999, S. 213 f.; Schmidkunz, 2011; Tamir, 1998, S. 783; Wild & Krapp, 2006, S. 533) und Entwicklung von angemessenen *Unterrichtsmedien* (vgl. Mannel et al., 2015, S. 101);
- *Individuelle Leistungsmessung zu Beurteilungs- oder Selektionszwecken* (vgl. Bühner, 2011, S. 27 f.; Di Fuccia & Ralle, 2009, S. 72; Kauertz et al., 2008, S. 76);
- *Evaluation unterrichtlicher Maßnahmen und Lernumgebungen* (vgl. Arnold, Kremer und Mayer, 2013, S. 8; Kauertz, Fischer, Lau & Neumann, 2008, S. 76; Kremer & Mayer, 2013, S. 84; Schwichow et al., 2016, S. 216; Tamir, 1998, S. 761 f.) im Rahmen der fachdidaktischen Unterrichtsforschung oder durch die jeweilige Fachlehrkraft im Hinblick auf die Wirksamkeit bestimmter didaktisch-methodischer Maßnahmen bzw. der Eignung spezieller Medien in bestimmten Lerngruppen.

Abhängig von den damit verknüpften Intentionen erhofft man sich bei nicht zufriedenstellenden Befunden, daraus differenzierte Impulse für die gezielte Förderung von Lernenden bzw. die Optimierung von Unterrichtskonzepten bzw. -medien ableiten zu können (vgl. Hafner & vom Hofe, 2008, S. 14, 17 f.; Jordan & vom Hofe, 2008, S. 4; Reiff, 2008, S. 47; Sjuts, 2008, S. 58). Entsprechend kommt der möglichst präzisen und validen Operationalisierung der gemessenen Merkmale Bedeutung zu (vgl. Rost, 2007, S. 47). Um Ursachen für das Ausbleiben oder die Abweichung von erwarteten Effekten zu ergründen, reichen die – meist quantitativen – Maßnahmen *summativer Evaluation* (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 109 f.; Wottawa, 2006, S. 662) i. d. R. nicht aus. Meist ist die Hinzunahme *formativer Evaluationsmethoden* sinnvoll (vgl. Wild & Krapp, 2006, S. 532), die v. a. beobachtende oder sprachbasierte qualitative, meist prozessbegleitende Verfahren darstellen (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 110; Häder, 2010, S. 69). Ein wichtiges Kriterium bei der Auswahl von Assessmentverfahren sind die je nach Kontext der Performanzmessung nur begrenzt zur Verfügung stehenden zeitlichen, personellen, technisch-apparativen und finanziellen Ressourcen (vgl. Moosbrugger & Kelava, 2007 a, S. 20 f.). Manche an sich adäquaten Messmethoden scheiden von vorneherein aufgrund der häufig fehlenden Expertise und Durchführungs- bzw. Auswertungskompetenz auf Seiten der Testleiter (z. B. Lehrkräfte) aus und sind meist ausschließlich wissenschaftlichen Studien vorbehalten (s. Abschnitte 5.3 und 5.4).

5.2 Entwicklung angemessener Messmethoden und -instrumente

Seit Einführung verbindlicher Output-Standards in den Bildungsplänen von 2004 (KMK, 2005 a) kommt angemessenen und aussagekräftigen Formen schulischer Leistungsmessung eine noch größere Rolle zu als in der Vergangenheit. Entsprechende ‚Werkzeuge‘ sollen dabei wichtige Gütekriterien wie Validität, Reliabilität und Objektivität erfüllen (vgl. Moosbrugger & Kelava, 2007 a, S. 8 ff.). In diesem Kapitel wird an anderer Stelle die Validität als ein zentrales Testgütekriterium exemplarisch herausgegriffen und ausführlicher betrachtet⁸⁶.

Standardisierte Messverfahren sind in den letzten Jahren auch beim Vergleich zwischen Schulen oder gar Schulsystemen immer bedeutender geworden (vgl. Gaude & Teschner, 1971, S. 21 ff.; Kauertz, Fischer, Lau & Neumann, 2008; Walpuski, Kampa, Kauertz & Wellnitz, 2008). An Schulen werden jedoch bislang i. d. R. unstandardisierte, nicht normierte Instrumente wie selbst entworfene Klassenarbeiten oder Kurztests eingesetzt (vgl. Wild & Krapp, 2006, S. 551 f.). Obwohl die meisten Testverfahren heutzutage noch entsprechend der *Klassischen Testtheorie* konstruiert sind (vgl. Bühner, 2011, S. 39 ff.; Moosbrugger, 2007 b, S. 100), werden angesichts mancher Schwächen und Unzulänglichkeiten (vgl. Bühner, 2011, S. 53 ff.) v. a. in groß angelegten Schulleistungsstudien immer öfter auch Verfahren gemäß der *Probabilistischen (Item-Response-)Testtheorie* (IRT) entwickelt und ausgewertet (vgl. Bühner, 2011, S. 478 ff.; Moosbrugger, 2007 a, S. 216 ff.), die manche Vorteile mit sich bringen (vgl. Klieme & Hartig, 2008, S. 25 f.). Gerade IRT-basierte Testverfahren zu konzipieren und zu erproben, erfordert jedoch ein hohes Maß an Expertise und geeignete Software.

Im Folgenden werden allgemeine psychometrische Hintergründe, Maßnahmen und Voraussetzungen für die Entwicklung und Analyse von Messmethoden und -instrumenten aufgezeigt, wobei das Konstrukt *Experimentelle Problemlösefähigkeit* im Mittelpunkt steht.

Fundament für die Konzipierung und Entwicklung von Diagnostik- bzw. Evaluationsverfahren und -instrumenten sind *Kompetenzstruktur- und -stufenmodelle* (vgl. Hammann, 2004; Hartig & Klieme, 2006, S. 128; Schecker et al., 2016; s. Abschnitt 3.3). Diese basieren auf einer präzisen *Operationalisierung* interessierender Kompetenzen und auf einer eindeutigen Festlegung qualitativer bzw. quantitativer Ausprägungsgrade (vgl. Beller, 2008, S. 29 f.; Klieme & Hartig, 2008, S. 24). Diese Niveaustufen weisen ein bestimmtes Skalenniveau auf (vgl. Bortz & Schuster, 2010, S. 12 ff.), das sich auf die Art der statistischen Datenauswertung auswirkt.

⁸⁶ Die Testkonstruktion sowie sämtliche anderen Testgütekriterien in dieser Arbeit intensiv zu besprechen, ist weder möglich noch angesichts des Fokus‘ angebracht – hierbei wird auf Standardwerke verwiesen (z. B. Beller, 2008, S. 53 ff.; Bortz & Döring, 2006, S. 195 ff.; Bühner, 2011, S. 58 ff.; Häder, 2010, S. 108 ff.; Jankisz & Moosbrugger, 2007; Moosbrugger & Kelava, 2007 a; Rost, 2007, S. 150 ff.; Wild & Krapp, 2006, S. 534 ff.).

Möchte man nun *Experimentelle Problemlösefähigkeit* erfassen, so ist zunächst erforderlich, ein entsprechend spezifisches Kompetenzstrukturmodell als Grundlage zu bestimmen, das die interessierenden Strukturen dieses Konstrukts enthält, d. h. dessen zu analysierenden Komponenten (vgl. Beller, 2008, S. 20; Hammann, 2004). Theoretisch postulierte Dimensionen wie im *Modell experimenteller Problemlösefähigkeit* (s. Abb. 3-2 in Abschnitt 3.3.3) gilt es, als empirisch unterscheidbare Faktoren zu bestätigen (vgl. Bühner, 2011, S. 31 f.). Das geschieht auf der Basis von manifesten Variablen, d. h. von beobachtbaren oder messbaren Indikatoren, z. B. schriftlich bearbeiteten Aufgaben, beobachtbaren Verhaltensweisen oder audiografierten Aussagen. In der Regel werden einzelne Phasen des Experiments wie z. B. *Planung, Durchführung, Auswertung und Interpretation* sowie *Anwendung* als grobe Dimensionen unterschieden (vgl. Germann, Aram, Odom & Burke, 1996; LISA, 2003, S. 23; Lunetta et al., 2007, S. 415; Mayer et al., 2008; Reisse, 2008, S. 149; Schreiber, Theyßen & Schecker, 2010, S. 204) und ggf. weiter differenziert (vgl. Abschnitte 3.3.1 und 4.2). Auf dieser Basis ist es möglich, entweder die Ausprägung der Performanz einer bestimmten (Teil-) Kompetenz von experimenteller Problemlösefähigkeit zu erfassen, oder – im Falle (quasi-)intervallskaliert manifester Variablen sowie mindestens moderat miteinander zusammenhängender Dimensionen – über aggregierte Werte eine Auskunft zur Ausprägung des Gesamtkonstrukts zu erhalten.

Ein zentrales Testgütekriterium bei der Performanzmessung stellt die *Validität* dar. Sie betrifft die Gültigkeit einer Methode bzw. eines Instruments, also das Maß der „Übereinstimmung zwischen dem Merkmal, das man messen will, und dem tatsächlich gemessenen Merkmal“ (Moosbrugger & Kelava, 2007 a, S. 13).

Um die Validität eines Messverfahrens zu analysieren und etwas über die Angemessenheit der Operationalisierung zu erfahren, werden i. S. der Konstruktvalidität in einer Probandenstichprobe Korrelationen zwischen den im Rahmen des Verfahrens ermittelten Scores und der Ausprägung eines anderen Merkmals ermittelt (vgl. Bühner, 2011, S. 63 f.), das entweder als sehr different oder aber recht ähnlich betrachtet wird. So wird beispielsweise geprüft, ob der Zusammenhang zwischen der interessierenden experimentellen Performanz und anderen Personenmerkmalen hinreichend gering ist, um die Konstrukte bei divergenter oder diskriminanter Validität voneinander abgrenzen zu können (vgl. Vorholzer et al., 2016, S. 26). Dies können beispielsweise das Leseverständnis oder allgemeine kognitive Fähigkeiten sein (vgl. Mannel et al., 2015, S. 102, 106). Glug (2009, S. 72 f., 228 f.) weist darauf hin, dass sich Schulnoten infolge ihrer komplizierten Zusammensetzung nur begrenzt als Merkmal zur Konstruktvalidierung eignen: Hof und Mayer (2008, S. 80) sowie Peter (2014, S. 98) zufolge korrelieren die Werte experimenteller Performanz in einer speziellen Domäne stärker mit dem damit verknüpften Domänenwissen als mit der Fachnote.

Die Art der *Operationalisierung* wirkt sich in hohem Maß auf die Messbefunde aus. Hinsichtlich der Konstruktvalidierung ist dies von größter Bedeutung. Dies zeigt sich beispielsweise beim Vergleich der Befunde von Glug (2009, S. 227) mit jenen von Mayer et al. (2008, S. 70 f.): Während sich bei Mayer et al. (2008) die Komponenten *Hypothesen generieren*, *Planung einer [experimentellen] Untersuchung* und *Deutung der Ergebnisse* als „eigenständige Dimensionen der Kompetenz des wissenschaftlichen Denkens“ (ebd., S. 70) evidenzbasiert unterscheiden lassen, sprechen die Daten bei Glug (2009, S. 227) für ein eindimensionales Konstrukt *Prozessbezogene naturwissenschaftliche Grundbildung* mit den Teilfertigkeiten *Identifizieren wissenschaftlicher Hypothesen*, *Planen einer wissenschaftlichen Untersuchung* und *Nutzen wissenschaftlicher Ergebnisse* (vgl. ebd., S. 77). Vorholzers (2016, S. 61 f., 115) Daten lassen ebenso lediglich *eine* übergreifende Dimension des zugrunde liegenden Konstrukts vermuten. Er berichtet auch von diversen anderen Studien, bei denen sich die postulierten Fähigkeiten empirisch kaum voneinander abgrenzen lassen, sodass in jenen Projekten von einem eindimensionalen Konstrukt ausgegangen und entsprechend statistisch ausgewertet wurde. Wie ist vor diesem Hintergrund die Datenlage bei Hammann et al. (2007) sowie Hammann et al. (2008) zu beurteilen, deren Operationalisierung in einfachen *Multiple Choice*-Items das SDDS-Modell (Klahr, 2000) zugrundeliegt? Angesichts der sehr ähnlich operationalisierten Kompetenzen wundert es kaum, dass zwischen diesen ein hoher korrelativer Zusammenhang besteht. Dies zeigt, dass in einigen Fällen Artefakte infolge nicht optimal differenzierender Operationalisierung auftreten können, was nicht selten zu Interpretationen verleitet, die es zu hinterfragen gilt. Mayer et al. (2008, S. 72 f.) fanden bei ihrem ebenfalls schriftlichen Instrument, dass die vier analysierten Dimensionen relativ starke Interkorrelationen aufweisen. Sie äußern die Vermutung, dass ein übergeordnetes Konstrukt, das die Autoren *Wissenschaftliches Denken* nennen, jeweils vergleichbar großen Einfluss ausüben könnte, obwohl die Teilfähigkeiten unterschiedlich operationalisiert wurden.

Wie u. a. Hammann et al. (2008, S. 69) und Stauvermann (2008, S. 94 f.) beobachteten, bilden *unterschiedliche Messverfahren zur selben fokussierten Kompetenz* aufgrund der jeweiligen Formate und Operationalisierungen meist differente (Teil-)Kompetenzen ab (vgl. auch Martinez, 1999; Meier & Mayer, 2012, S. 95; Schwichow et al., 2016, S. 219, 222): Die Interkorrelationen der jeweiligen Performanzwerte fallen folglich meist höchstens moderat aus. Zwischen *paper-and-pencil*-Testscores und den Werten praxis-, also prozessbezogener Assessmentverfahren sind sie relativ gering (vgl. Germann et al., 1996, S. 193; Hammann et al., 2008, S. 70; Lunetta et al., 2007, S. 413; Meier, 2016, S. 52 f.; Shavelson & Ruiz-Primo, 1999, S. 122; Tamir, 1998, S. 774). Dies spricht gegen konvergente (Konstrukt-)Validität (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 203; Hartig, Frey & Jude, 2007, S. 150; Meier & Mayer, 2012, S. 85; Schermelleh-Engel & Schweizer, 2007, S. 326; Schreiber, 2012, S. 145). Wie Mannel et al. (2015, S. 108) aufzeigen, „sind die Anforderungen, die praktische Experimentiertests an

die Testpersonen stellen, in der Regel höher im Vergleich zu schriftlichen Tests und zwar bedingt dadurch, dass zeitgleich experimentelle Fähigkeiten und experimentelle Fertigkeiten eingefordert werden“ (s. auch Abschnitt 3.3.3). Unter Fachdidaktiker besteht Konsens, dass sich sowohl unterschiedliche Aufgabenformate als auch Domänen auf die differente „Relevanz bestimmter Personenmerkmale“ (Härtig et al., 2017, S. 2) im Hinblick auf die Problemlösung auswirken können.

Schreiber (2012, S. 140 ff.) fand, dass sich Probanden beim Vergleich der Performanzwerte im Bearbeiten schriftlicher Experimentieritems mit dem Verhalten in Realexperimenten in manchen der untersuchten Kompetenzen (*Aufbauphase*, *Parameterkontrolle: Messen*, *Parameterkontrolle: Auswertung*) überzufällig unterscheiden, während die Nullhypothese bei „theoretischen Vorüberlegungen“ (ebd., S. 141) beibehalten werden konnte. Diese hohe Übereinstimmung resultiert wohl aus der vergleichbaren präexperimentellen Phase, die ähnliches analytisches Problemlösen erfordert. Bei experimentbezogenen Handlungssequenz- und Arbeitsqualitätsanalysen beobachtete Schreiber beim Vergleich der Performanz in Computersimulationen bzw. Realexperimenten hingegen keine signifikanten Unterschiede auf *Gruppenebene*. Insofern stellen computerbasierte Simulationen mit der Erhebung von Logfile-(Navigations-)Daten eine gute Kompromisslösung mit relativ hoher Validität bei gleichzeitig moderatem ökonomischen Aufwand dar, experimentelle prozessbezogene Kompetenzen auf Gruppenebene zu erfassen (vgl. Klieme et al., 2001, S. 188; Schreiber, Theißen & Schecker, 2011, S. 244). Dies ist z. B. im Hinblick auf eine Evaluation von Unterricht oder Treatments interessant. Auf Individualebene zeigten sich allerdings sowohl beim Vergleich zwischen *paper-and-pencil*-Test und Realexperiment als auch zwischen Computersimulation und Realexperiment keine ausreichend großen Zusammenhänge (vgl. Schreiber, 2012, S. 142 ff.). Insofern müsste man zum Zweck der *Individualdiagnostik* auf aussagekräftige schriftliche Tests oder auf die Beobachtung bzw. Analyse der Prozessprotokolle von Realexperimenten zurückgreifen.

Für die erfolgreiche Bearbeitung der unterschiedlichen Assessmentformate sind also differente *kognitive, metakognitive oder prozedurale Aktivitäten* nötig (vgl. Martinez, 1999; Mayer, 2007, S. 183; Tamir, 1998, S. 764). In manchen Fällen spielen neben einem höheren Maß an Selbstregulation auch technisch-manuelle Operationen (vgl. Schreiber, 2012, S. 114) eine Rolle, womit auch unterschiedlich hohe kognitive Belastung verbunden ist (vgl. Hammann et al., 2008, S. 69; Moosbrugger, 2007, S. 248 f.). Somit sind die empirischen Zusammenhänge zwischen den Formaten hinsichtlich des jeweils gemessenen zugrundeliegenden Konstrukts i. S. konvergenter Validität begrenzt (vgl. Schreiber, 2012, S. 115 f.). Dies hat bei einigen Verfahren bzw. Messinstrumenten konsequenterweise eine Reduzierung der Validität zur Folge (vgl. Meier & Mayer, 2012, S. 82, Stebler, Reusser & Ramseier, 1998, S. 29). Es ist daher schwierig, von den Resultaten schriftlicher Verfahren auf die Performanz bei praktisch-

handelnder experimenteller Problemlösung zu schließen (vgl. Hammann et al., 2008, S. 70; Meier & Mayer, 2011, S. 123, 127; Pine et al., 2006, S. 471; Roberts & Gott, 2003, S. 121; Schreiber et al., 2009, S. 92; Vorholzer et al., 2016, S. 28).

Noch aus einem weiteren Grund ist die Validität vieler Messinstrumente in Abhängigkeit der spezifischen *Operationalisierung* und Datenquelle eingeschränkt: In der Regel werden nicht sämtliche Facetten der interessierenden Kompetenz durch das betreffende Messverfahren bzw. im Testinstrument abgebildet (vgl. Schwichow, Christoph, Boone & Härtig, 2016, S. 218, 222). So konnten beispielsweise Schwichow et al. (2016) zeigen, dass sich selbst stark eingegrenzte Kompetenzen (wie beispielsweise im Zusammenhang mit der Variablenkontrollstrategie) weiter in „sub-skills“ (ebd., S. 216) differenzieren lassen: im Beispiel etwa auf (a) die Planung unkonfundierter Experimente, (b) die Interpretation kontrollierter Experimente, (c) die Identifikation korrekt geplanter, kontrollierter Experimente und (d) das Verständnis der begrenzten Aussagekraft intern nicht valider Experimente. Verschiedene Studien (z. B. Schneider et al., 1998; Schwichow et al., 2015, S. 349 f.) belegen, wie unterschiedlich anspruchsvoll z. B. das Erkennen unkonfundierter Vergleichsansätze im Gegensatz etwa zur Planung eigener intern valider Experimente oder das explizite Verstehen der epistemologischen Logik sind. Entsprechende Erkenntnisse bilden sich auch in normativen Kompetenzmodellen ab, wie die Überlegungen von Kauertz, Fischer, Mayer, Sumfleth und Walpuski (2010, S. 143 ff.) zu kognitiven Prozessen zeigen: Demzufolge nimmt die Herausforderung von *Reproduzieren* über *Selektieren* und *Organisieren* hin zu *Integrieren* zu (vgl. auch Hammann & Jördens, 2014, S. 170; Schecker & Parchmann, 2006, S. 54 ff.). Dies spiegelt sich in der unterschiedlichen Schwierigkeit verschiedener schriftlicher Itemformate bzw. mündlicher Testformate wieder (vgl. Schneider et al., 1998).

Eine notwendige Voraussetzung, damit die Validität einer Messmethode nicht beeinträchtigt wird, ist deren Bekanntheit bei den Probanden: Ungewohnte Assessmentverfahren wie Prozessprotokolle oder Computersimulationen bedürfen der vorherigen methodischen Einführung (vgl. Emden & Sumfleth, 2012, S. 73; Schreiber et al., 2009, S. 95). Ansonsten kann die fehlende Übung der Probanden die Performanz unsystematisch verzerren.

Die Validität und Reliabilität einer Messung können auch durch die *Abhängigkeit der Performanz von Domänenwissen* beeinflusst werden, dessen Quantität und Qualität sich i. d. R. individuell unterscheiden. Im Zusammenhang mit der Variablenkontrollstrategie wird mittlerweile teilweise versucht, von Domänenwissen unabhängige Items zu konstruieren, indem z. B. fiktive Kontexte eingesetzt werden, bei denen Vorwissen und Voreingenommenheit nicht die Befunde verfälschen (vgl. Mannel et al., 2015, S. 101). Dabei, so das Ziel, soll die Performanz in einem höheren Maß auf die Kompetenz des Verständnisses und der An-

wendbarkeit der Strategie zurückzuführen sein können (vgl. Schwichow et al., 2016, S. 220). Des Weiteren kann davon ausgegangen werden, dass der *Aufgabenkontext* – z. T. vermittelt über die damit verbundene Interessantheit (vgl. Roesler, Wellnitz & Mayer, 2016, S. 265, 277) bzw. Vertrautheit – die Leistung bzw. Schwierigkeit beeinflusst (vgl. Ehmer, 2008, S. 95; Roberts & Gott, 2003, S. 116; Krell & Vierarm, 2016, S. 287 f., 294 f.; Mayer & Wellnitz, 2014, S. 27; Stauvermann, 2008).

5.3 Verfahren zur Messung experimenteller Kompetenzen und deren Eigenschaften

Im vorausgehenden Abschnitt wurden bereits verschiedene Formen der Datenerhebung angesprochen, so z. B. schriftliche und praxisbezogene Formate der Kompetenzmessung. Es ist offensichtlich, dass diese verschiedenen Methoden und Instrumente unterschiedliche Facetten experimenteller Problemlösefähigkeit mehr oder weniger gut erfassen können. Darüber hinaus weisen sie weitere spezifische Eigenschaften auf, die bei der Auswahl von Messmethode und ggf. -instrument von Bedeutung sind. Tabelle 5-1 gibt einen Überblick über verschiedene *Assessmentmethoden* bzw. *-instrumente*. Diesen sind zutreffende *Eigenschaften* bzw. erfüllte *Kriterien* zugeordnet (vgl. Angaben bei Bühner, 2011, S. 108 ff.; Duit, Häußler & Prenzel, 2002, S. 174 ff.; Jonkisz, Moosbrugger & Brandt, 2007, S. 38 ff.; Lunetta et al., 2007, S. 413 ff.; Mayer, 2004, S. 98; Meier, 2016, S. 49 ff.; Schecker et al., 2016, S. 199; Schreiber, 2012, S. 113; Shavelson & Ruiz-Primo, 1999; Spörhase, 2012 c, S. 290; Stebler et al., 1998, S. 29 ff., 47; Tamir, 1998, S. 764 ff.; erweitert). Diese Kriterien betreffen u. a. die Bandbreite der erfassbaren kognitiven Kompetenzen, Test- und Itemcharakteristika sowie die Testökonomie (vgl. Emden et al., 2010, S. 284; Emden & Sumfleth, 2012, S. 68 f.; Glug, 2009, S. 4, 46 ff.; Herold et al., 2003, S. 18 (68); Martinez, 1999, S. 215 f.).

In Tabelle 5-2 sind auch *naturwissenschaftsdidaktische* bzw. *lernpsychologische Publikationen* im Zusammenhang mit experimenteller Problemlösefähigkeit aufgelistet und den jeweils eingesetzten Methoden bzw. Instrumenten zugeordnet: Neben Referenzen aus der biologiedidaktischen Forschung sind auch Studien aus anderen naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken sowie aus der Technik- und Geographie-Didaktik berücksichtigt. Dies ist dort gerechtfertigt, wo ein ähnlich strenger Experimentbegriff zugrunde liegt und identische domänenübergreifende experimentelle Kompetenzen eine Rolle spielen. Somit können auch psychometrische Herangehensweisen und Operationalisierungen aus anderen Fachdidaktiken Impulse für die Testkonstruktion bzw. Gestaltung von Messmethoden in der Biologiedidaktik geben.

Tab. 5-1. Eigenschaften von Messverfahren/-instrumenten für experimentelle Kompetenzen

Verfahrenskategorie	Format / Modus	Kriterium											
		Problemlösen, Anwenden											
		Wissen: Fakten, Konventionen	Wissen: Begriffe, Prinzipien	Verständnis von Begriffen, Konzepten, Zusammenhängen	Analytisch: Begriffe und Prinzipien (Verständnis und Anwendung)	Analytisch: Strategien, Denkopoperationen	Dynamisch: Methoden/Technik, Komplexität und Systemik, Prozessbezug	Authentizität und Komplexität im Vergleich zum Realexperiment	Differenziertheit / Vollständigkeit der Performanzabbildung	Ratewahrscheinlichkeit (Bearbeitung)	Performanz abhängig von Sprache	Objektivität bei der Auswertung	Aufwand (Durchführung / Auswertung)
Paper-and-pencil-Tests*	(Single) Multiple Choice, Zuordnung	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x
	Kurzantwort	x	x	x	x	x				x	x	x	x
	offenes Format: Freitext, Zeichnungen	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x
	Concept map	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x
Prozessprodukte / -dokumente	Prozess- / Reflexions-Protokoll i. w. S.					x		x	x		x	x	x
	Forschungs-Portfolio (ausführl. Dokumentation)	x	x	x	x	x		x	x		x	x	x
	anderes End-Produkt (z. B. Poster)				x	x		x	x		x	x	x
Practical / Performance Assessments i. e. S.	Realexperiment: Beobachtung / Videographie / Audiographie / Ergänzung um Fotos			x	x	x	x	x	x			x	x
	Computersimulation: Logfile-Daten			x	x	x	x	x		x		x	x
Andere	Diagnostisches Interview	x	x	x	x	x			x		x	x	x
	Gruppendiskussion (Audiographie)	x	x	x	x	x			x		x	x	x
	Fragebogen	x	x	x					x	x	x	x	x

Anmerkungen. x: trifft in hohem Maß zu. x: trifft bedingt zu. Analytisch: i. S. analytischen Problemlösens. Dynamisch: i. S. dynamischen Problemlösens. *: ausführliche Angaben u. a. bei Bortz und Döring (2006, S. 213 ff.), Bühner (2011, S. 108 ff.), Jankisz und Moosbrugger (2007, S. 38 ff.) sowie Spörhase (2012 c, S. 285 ff.).

Tab. 5-2. Verwendung von Messverfahren / -instrumenten zum Experimentieren in Studien

Kategorie	Format / Modus	Referenzen
Paper-and-pencil-Tests	(Single) Multiple Choice, Zuordnung	Arnold (2015), Baumann (2014), Chen und Klahr (1999), Ehmer (2008), Emden und Sumfleth (2011), Erb und Bolte (2011), Ganser und Hammann (2009), Glug (2009), Hahn, Stiller, Stockey und Wilde (2013), Hammann et al. (2007), Hammann et al. (2008), Hardy et al. (2010), Heimann und Neumann (2011, S. 27 f.), Henke (2007), Klos (2008), Klos, Henke, Kieren, Walpuski und Sumfleth (2008), Krell und Vierarm (2016), Mannel et al. (2015), Mathesius, Upmeier zu Belzen & Krüger (2014), Nowak, Nehring, Tiemann und Upmeier zu Belzen (2013), Nehring, Nowak, Upmeier zu Belzen und Tiemann (2012), Nehring, Nowak, Upmeier zu Belzen und Tiemann (2015), Peter (2014), Phan (2007), Schmidt und Möller (2013), Schmidt und Möller (2015), Schreiber (2012), Schreiber, Theyßen und Schecker (2009, 2010), Schwichow et al. (2016), Siler und Klahr (2015), Stauvermann (2008), Thillmann (2007), Vorholzer (2016), Vorholzer et al. (2016), Wahser (2007), Walpuski (2006), Walpuski, Mannel und Sumfleth (2011), Wellnitz und Mayer (2013)
	Kurzantwort	Adamina et al. (2008), Baumann (2014), Di Fuccia (2011), Di Fuccia und Ralle (2009), Grygier (2008), Grygier (2011), Heimann und Neumann (2011), Schmidt und Möller (2013), Schmidt und Möller (2015), Schreiber (2012), Sodian et al. (2002), Wellnitz und Mayer (2013)
	offenes Format: Freitext, Zeichnungen	Adamina et al. (2008), Arnold (2015), Arnold, Kremer und Mayer (2013, 2014, 2015), Di Fuccia (2011), Di Fuccia und Ralle (2009), Ehmer (2008), Erb und Bolte (2011), Germann et al. (1996), Gleason und Schauble (2000), Grimmer (2007), Hammann et al. (2008), Heimann und Neumann (2011), Henke (2007), Kremer et al. (2013), LISA (2003), Mathesius et al. (2014), Mayer, Grube und Möller (2008), Meier und Meyer (2014), Neber und Anton (2008 a und b), Peter (2014 via Protokoll), Prechtl (2011), Schmidkunz (2011), Schmidt und Möller (2013), Schmidt und Möller (2015), Schreiber (2012), Siler und Klahr (2015), Stauvermann (2008), Vorholzer (2016), Vorholzer et al. (2016), Wellnitz und Mayer (2013), Zhang et al. (2015)
	Concept map	Kim und Irving (2010), Shavelson und Ruiz-Primo (1999), White und Gunstone (1999)
Prozessprodukte / -dokumente	Prozess- / Reflexions-Protokoll i. w. S.	Baur (2015, 2016), Borgenheimer und Weber (2009), Bylebyl et al. (2010, S. 77 ff.), Emden et al. (2010, S. 285), Emden und Sumfleth (2011), Emden und Sumfleth (2012); Gut (2009; vgl. Schreiber, 2012), Gut et al. (2010; vgl. Schreiber, 2012, S. 52), Huang (2008), Kambach und Upmeier zu Belzen (Vortrag am 16.09.2015), Maiseyenko (2014), Meier (2016), Meier und Mayer (2011), Meier & Mayer (2014), Peter (2014), Prechtl (2011), Schreiber (2012), Wu und Hsieh (2006)
	anderes End-Produkt (z. B. Poster)	Adamina et al. (2008), Stebler et al. (1998), Wu und Hsieh (2006), Zhang et al. (2015)

Practical (Performance) Assessments i. e. S.	Realexperiment: Beobachtung / Videographie / Audiographie / Ergänzung um Fotos	Adamina et al., (2008), Arnold, Kremer und Mayer (2015), Asmussen (2007), Baumann (2014), Baur (2015, 2016), Chen und Klahr (1999), Dearborn (2003, S. 9), Di Fuccia (2011), Dunbar (1993), Emden und Sumfleth (2010), Emden und Sumfleth (2011), Emden und Sumfleth (2012), Gummer und Champagne (2006), Hammann et al. (2008: Einbezug von Karten), Henke (2007), Holst (2005), Kambach und Upmeier zu Belzen (2015), Kambach und Upmeier zu Belzen (2016), Kircher und Priemer (2010), Klahr und Nigam (2004), Leuders, Naccarella & Philipp (2011), Maiseyenko (2014), Meier (2016), Meier und Mayer (2012), Meier und Mayer (2013), Meier und Mayer (2014), Nawrath, Maiseyenko und Schecker (2011: Spinnennetzmodell), Pine et al. (2006), Schauble (1996), Schmidt und Möller (2013), Schauble et al. (1992), Schmidt und Möller (2015), Schreiber (2012), Schreiber, Theyßen und Schecker (2009, 2010, 2011), Shavelson und Ruiz-Primo (1999), Spörhase (2012 c, S. 296), Stauvermann (2008: Einbezug von Karten), Stebler et al. (1998), Wahser (2007), Wu und Hsieh (2006), Ziemek, Keiner und Mayer (2005)
	Computer-simulation: Logfile-Daten	Borgenheimer und Weber (2009), Dunbar (1993), Gößling (2010), Greiff et al. (2013), Hmelo-Silver, Nagarajan und Day (2002), Künsting (2007), Schecker et al. (2016), Scherer und Tiemann (2011), Leutner, Wirth, Klieme und Funke (2005), Schreiber et al. (2009), Schreiber (2012), Schreiber, Theyßen und Schecker (2009, 2010, 2011), Siler und Klahr (2015), Stark et al. (1995), Thillmann (2007), Thillmann, Künsting, Wirth und Leutner (2009). Wirth und Funke (2005), Zhang et al. (2004)
Andere	Diagnostisches Interview: Audiografie	Asmussen (2007), Carey et al. (1989), Chen und Klahr (1999), Ehmer und Hammann (2007), Grygier (2008), Grygier (2011), Hafner und vom Hofe (2008), Henke (2016), Hofheinz (2010 a), Horstendahl et al. (2000), Kambach und Upmeier zu Belzen (Vortrag am 16.09.2015), Khishfe und Abd-El-Khalick (2002), Kuhn, Schauble und Garcia-Mila (1992), Leuders, Naccarella & Philipp (2011), Niebert und Gropengießer (2006), Paul und Groß (2016), Schauble (1996), Sodian et al. (2002), White und Gunstone (1999), Wu und Hsieh (2006)
	Gruppendiskussion: Audiografie	Birkholz und Elster (2016), Klahr und Nigam (2004)
	Fragebogen	Birkholz und Elster (2016), Di Fuccia (2011), Henke (2016), Hofheinz (2010 a), Huang (2008), Khishfe und Abd-El-Khalick (2002), Kremer und Mayer (2013), Kremer et al. (2013), Kremer, Urhahne und Mayer (2007), Zhang et al. (2015)

Beim Vergleich der Anzahl von Studien nach Art der Messmethodik (Tab. 5-2) fällt auf, dass es nicht „das“ Instrument bzw. Verfahren schlechthin gibt. Vielmehr hängt die Auswahl der methodologischen Herangehensweise bzw. des Tests von der jeweiligen Forschungsfrage und von zahlreichen weiteren Gründen ab – z. B. von der Frage nach den schwerpunktmäßig interessierenden Kompetenzen. Lunetta et al. (2007, S. 415) unterscheiden diesbezüglich

grob zwischen prozeduralem Wissen auf der einen Seite, welches laut Mayer (2007, S. 181 f.) wissenschaftsmethodische, prozessbezogene Fähigkeiten umfasst, und deklarativem konzeptuellem Wissen, z. B. um Methodologie, Strategien sowie Wissenschaftsverständnis, auf der anderen Seite. Im einen Fall werden Assessmentverfahren mit der Möglichkeit zur Anwendung zum Einsatz kommen, während im anderen Fall Formate von Bedeutung sind, in denen das Wissen und Verständnis zu verbalisieren sind.

Neben spezifischen *Stärken* und *Vorteilen* bringen die jeweiligen Methoden auch *Schwächen* mit sich, die bei der Festlegung auf ein Assessmentverfahren bedacht werden müssen. Im Folgenden werden diese für einige Formate beispielhaft beleuchtet.

Problematisch bei *schriftlichen Testformaten* ist, dass *dynamisches Problemlösen* nicht erhoben werden kann, da hier die Interaktion mit Systemen vonnöten wäre (vgl. Leutner, Funke, Klieme & Wirth, 2005, S. 17 f.; Wirth & Funke, 2005, S. 56). Die Probanden erhalten in *paper-and-pencil*-Tests jedoch kein System-Feedback auf Manipulationen. Vorgänge können somit nicht untersucht, und die Adäquatheit von Eingriffen oder Prozeduren kann nicht rückwirkend beurteilt bzw. sogar verbessert werden (vgl. Schreiber, 2012, S. 72 ff., 114; Schreiber, Theyßen & Schecker, 2009, S. 96 f.; dies., 2010, S. 205; dies., 2011, S. 245) – Schreiber (2012, S. 113) spricht von „Rückkopplung“ bei den interaktiv-dynamischen Lernaktivitäten. Insofern ermöglichen schriftliche Assessmentmethoden lediglich eine weniger differenzierte Einschätzung der tatsächlichen Performanz (vgl. Schreiber, Theyßen & Schecker, 2011, S. 245 f.), was auch die Varianz der Ergebnisse reduziert.

Auch Instrumente der *schriftlichen prozessbegleitenden Dokumentation* (z. B. Protokolle, V-Diagramme) bergen Risiken der unzureichenden Vollständigkeit⁸⁷, was zu Verfälschungen führt (vgl. Meier, 2016, S. 200). Diese können lediglich durch Hinzunahme von Beobachtungen und Audiographien im Zusammenhang mit der *Think Aloud*-Methode (vgl. Häder, 2010, S. 393 f.) während der Phase des aktiven Experimentierens bzw. durch *Stimulated Recall*-Interviews aufgedeckt werden (vgl. Kauertz, 2014, S. 348; Sandmann, 2014). Werden Experimentierprotokolle ausgewertet, so kann von deren höheren Validität ausgegangen werden, wenn sie außer Angaben über Vorgehensweise, verwendete Materialien, Geräte und Techniken, Mess- und Beobachtungsverfahren, Datenanalyse, Interpretation und Diskussion auch Anmerkungen zu Überlegungen im Rahmen der Planung enthalten (vgl. Lunetta et al., 2007, S. 315). Entsprechende Impulse, diese zu dokumentieren, sind den Lernenden als Prompts zu geben bzw. in vorstrukturierten Berichtbögen bzw. -dateien anzusprechen.

⁸⁷ z. B., die Beurteilung, wie systematisch-linear oder linear-oszillierend jemand experimentiert (vgl. Kambach & Upmeyer zu Belzen, 2015, S. 192 f.) oder welche Phasen des Experiments tatsächlich aufeinander folgten.

Die Studie von Maiseyenko (2014, S. 164, 172) hat gezeigt, dass die Reliabilität *praxisbezogener Assessmentverfahren* mit Realexperimenten sehr begrenzt sein kann, wodurch die ohnehin sehr aufwändigen Beobachtungen im Schulgebrauch eher wenig praktikabel sind, wenn ausschließlich eine summative Evaluation intendiert wird und ein sozialer oder kriterialer Bezugsrahmen von Interesse ist. Auf der Grundlage kontinuierlicher Beobachtung und / bzw. Dokumentation des reinen Vorgehens während Realexperimenten (vgl. Lunetta et al., 2007, S. 417) oder computergestützten Simulationen (vgl. Künsting, 2007; Thillmann, 2007) kann ohne Hinzunahme verbalisierter Informationen zwar die Angemessenheit des Experimentierverhaltens analysiert und beurteilt werden. Schriftliche Verfahren oder die Auswertung anderer sprachlicher Methoden wie etwa von lautem Denken (vgl. Häder, 2010, S. 393; Hartig, Frey & Jude, 2007, S. 153; Jankisz & Moosbrugger, 2007, S. 70 f.; Sandmann, 2014, S. 181, 183) erlauben darüber hinaus aber auch, kognitive Merkmale wie „Entscheidungs- und Verstehensprozesse dieser Handlungen“ (Meier & Mayer, 2011, S. 124) sowie Einstellungen und Konzepte zu erheben (vgl. Carey et al., 1989; Lunetta et al., 2007, S. 416; Urhahne et al., 2008). Hierfür ist es unabdingbar, auch Beschreibungen, Erläuterungen und Begründungen der Probanden zu erfassen.

Die Beurteilung offener Antworten in schriftlichen Erhebungen sowie von Beobachtungen, Video- oder Audiografien erfordern präzise Kodierregeln und -manuale (vgl. Nehring et al., 2016, S. 87), um ein hohes Maß an Reliabilität und Objektivität zu gewährleisten (vgl. Rost, 2007, S. 74; Wirtz & Caspar, 2002, S. 15).

Bei der *Evaluation von Fördermaßnahmen* ist nicht nur die überzufällige Wirksamkeit der Intervention von Interesse, sondern auch die praktische Bedeutsamkeit (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 600) der Effektstärke, also des Ausmaßes der Performanzveränderung (vgl. Nachtigall & Wirtz, 2006, S. 206; Wirtz & Nachtigall, 2008, S. 92). Wie eine Metanalyse zeigt (vgl. Schwichow et al., 2016, S. 218), hängt die *Effektstärke in Wirkungsstudien* stark vom *Messverfahren* ab: Bei *Multiple-Choice-Items* können beispielsweise tendenziell geringere Effekte als bei *Freitextformaten* oder in *praxisbezogenen Assessments* beobachtet werden. Weitere Einflussgrößen auf die Effektgröße sind die *operationalisierten Teilfähigkeiten* und die *Anzahl der in Experimentalaufgaben zu kontrollierenden Variablen* (vgl. ebd., S. 223, 229, 232): Die kognitive Belastung steigt, je mehr Variablen in Experimenten berücksichtigt werden müssen, weil zum einen die koordinierte Handhabung von Test- und Kontrollvariablen sowie die systematische Planung von Versuchsreihen komplexer und zum anderen neben Haupt- theoretisch auch Interaktionseffekte zu beachten sind (vgl. Krell & Vierarm, 2016, S. 288, 293 f.).

Zusammenfassend betrachtet ist die Messung von experimentellen (Teil-)Kompetenzen – wie auch des hochkomplexen und mehrdimensionalen Konstrukts *Experimentelle Problemlösefähigkeit* als Ganzes – herausfordernd. Die Interpretation empirischer Befunde ist mit Bedacht vorzunehmen und muss die Eigenheiten und Einschränkungen des jeweiligen Messverfahrens und der untersuchten experimentellen Kompetenz berücksichtigen. Die Erfassung verschiedener Facetten kann bzw. muss ausschließlich anhand unterschiedlicher Verfahren und Instrumente erfolgen⁸⁸ (vgl. die Fuccia & Ralle, 2009, S. 73; White & Gunstone, 1999, S. 129). Es liegt außerdem nahe, dass die *Kombination mehrerer Verfahren* helfen kann, die *Reliabilität* der Merkmalseinschätzung zu erhöhen (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 366). Diese fokussieren entweder bestimmte kognitive Kompetenzen (vgl. Kauertz et al., 2010; Martinez, 1999, S. 208 ff.) oder manuell-technische Fertigkeiten.

Die Verfahren haben wie oben aufgezeigt unterschiedliche Charakteristika und Eigenschaften und weisen somit im Hinblick auf differente Zielsetzungen bzw. zu erfassende Kompetenzen unterschiedliche *Stärken und Schwächen* auf (vgl. Martinez, 1999; Roediger III & Marsh, 2005; Walpuski & Ropohl, 2011). Ihre Auswahl erfolgt in der Praxis allerdings i. d. R. nicht nur hinsichtlich ihrer Vorteile, sondern meist auch aufgrund pragmatischer Aspekte (vgl. Walpuski & Ropohl, 2011, S. 82) wie Erhebungs- bzw. Auswertungsaufwand, zur Verfügung stehenden Ressourcen oder der Zumutbarkeit für die Probanden. Je nach Operationalisierung, dem Umfang von Erhebungsmaßnahmen sowie methodologischer Triangulation sind unterschiedlich valide und reliable Befunde zu erwarten.

5.4 Einsatz von Messverfahren und -instrumenten im schulischen Kontext

Der mit der Konzipierung, Entwicklung und Erprobung standardisierter Messverfahren und -instrumente verbundene Aufwand ist für Lehrkräfte nicht selten sehr groß. Darüber hinaus fehlt diesen zumeist die dafür erforderliche Expertise (s. o.). Insofern kommt der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung dies als eine weitere Aufgabe zu (vgl. Abschnitt 1.5): Testmethoden und -instrumente zu entwickeln, in großen Stichproben zu erproben und zu validieren. Bewährte, für den schulischen Einsatz praktikable und für Lernende zumutbare (vgl. Jankisz & Moosbrugger, 2007, S. 35; Moosbrugger & Kelava, 2007 a, S. 20 ff.; Moosbrugger & Kelava, 2007 b, S. 401) Verfahren und Tests sollten Schulen zugänglich gemacht werden.

⁸⁸ unter Umständen ist die Multitrait-Multimethod-Methode mittels einer methodologischen Triangulation hilfreich, einzelne Messverfahren bzw. -instrumente zu validieren und zu optimieren (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 202 f., 365). Eine Übersicht zu verschiedenen Instrumenten zur Erfassung wissenschaftlichen Denkens findet sich z. B. bei Arnold (2015, S. 95).

Im schulischen Kontext werden in der Regel schriftliche Messverfahren das Mittel der Wahl sein (vgl. Lunetta et al., 2007, S. 415), v. a. aufgrund deren Testökonomie und mehr oder weniger hoher Auswertungsobjektivität (s. auch Mannel et al., 2015, S. 108). Angesichts dessen, dass es auch bei ausschließlicher Betrachtung schriftlicher Messverfahren große Unterschiede in der Aufgabenschwierigkeit in Abhängigkeit von Itemformat und Aufgabengestaltung gibt (s. Abschnitte 5.2 und 5.3; vgl. Horstendahl et al., 2000, S. 10), ist deren Adaption an die Lernvoraussetzungen der Probanden vorzunehmen. Mannel, Walpuski und Sumfleth (2015, S. 100) sowie Walpuski, Mannel und Sumfleth (2011, S. 238) zufolge liegen im Primar- und Orientierungsstufen-Bereich nur wenige Messinstrumente vor, v. a. also für jüngere und weniger leistungsstarke Lernende, beispielsweise an Hauptschulen (vgl. Abschnitt 4.5)⁸⁹. Bei der Individualdiagnostik können neben schriftlichen auch Performance-Assessmentverfahren zum Einsatz kommen. Eine große Herausforderung dieser anspruchsvollen Form der Leistungsmessung besteht jedoch wie bereits in Abschnitt 5.3 angedeutet bezüglich der komplizierten Kodierung und dem vergleichsweise großen Aufwand (vgl. Baur, 2016, S. 195; Lunetta et al., 2007, S. 417).

Zusammenfassend betrachtet wurde in diesem Kapitel ersichtlich, dass die Entwicklung und Erprobung von Verfahren zur Erfassung experimenteller Kompetenzen eine bedeutsame Aufgabe der Naturwissenschaftsdidaktiken in Verbindung mit der Lehr-Lernforschung darstellt. Während hinsichtlich domänenübergreifender wissenschaftsmethodischer Kompetenzen inzwischen zahlreiche Tests vorliegen (z. B. Ehmer, 2008; Hof, 2011; Klos, 2008; Phan, 2007), mangelt es an Verfahren für *domänenspezifischere Dimensionen experimenteller Problemlösefähigkeit*: Messmethoden und -instrumente z. B. zu Fähigkeiten, welche die externe, v. a. ökologische Validität betreffen wie Beobachtungsdauer, Stichprobengröße und Messwiederholungen, spielten zwar in manchen Studien eine Rolle (z. B. Arnold et al., 2013). Allerdings eignen sich die dort eingesetzten Instrumente nur bedingt, wenn wenig Zeit für die Bearbeitung von zahlreichen Freitext-Items zur Verfügung steht oder wichtige kognitive bzw. sprachliche Voraussetzungen bei den Lernenden nicht erfüllt sind wie in der Stichprobe der entsprechenden Autoren (vgl. Härtig et al., 2017, S. 2). Insofern bestehen weiterhin Forschungsdesiderate in Bezug auf die Entwicklung und Erprobung von Messmethoden und Tests: u. a. im Hinblick auf *domänenspezifische experimentelle Kompetenzen* und die Eignung für *unterschiedlich leistungsstarke Probanden*, z. B. in verschiedenen Schularten (vgl. Abschnitt 4.5) und Kohorten (vgl. Abschnitt 4.7.1.1).

⁸⁹ Bei der Analyse von Leistungsunterschieden zwischen Hauptschülern und Gymnasiasten zeigte sich auch für das eigene Messinstrument (Rösch, 2015; Roesch et al., 2015; Rösch et al., 2012), dass die Freitext-Items für viele Probanden aus der Real- und Hauptschule noch zu anspruchsvoll waren und modifiziert werden mussten (vgl. Walpuski et al., 2011, S. 239).

6 Eigenes Forschungsprojekt: Konzeption und Überblick

Wie in Kapitel 4 und 5 ersichtlich wurden in den letzten Jahrzehnten zunehmend *Fortschritte naturwissenschaftsdidaktischer Forschung zur Förderung und Messung experimenteller Problemlösefähigkeit* und deren psychometrisch differenzierbaren Komponenten erzielt. Überdies gibt es inzwischen zahlreiche didaktisch-methodische *Konzeptionen für kontextbasiertes Forschendes Lernen*. Gleichwohl wurden in den vorausgehenden Kapiteln diverse Aspekte angedeutet, zu denen bislang wenig geforscht wurde bzw. bis dato widersprüchliche Befunde vorliegen. Im jeweiligen Zusammenhang noch offene Fragen wurden dabei zur Sprache gebracht.

Dies bedeutet, dass trotz intensiver Untersuchungsaktivitäten und Erprobungen weiterhin viele *Forschungsdesiderate* bestehen. Aus diesen leiten sich auch die *Fragestellungen* ab, die im Mittelpunkt des e^xMNU-Projekts „Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung“ (vgl. Vorwort) standen und denen sich die im Anhang beigefügten Einzelbeiträge widmen (s. Kapitel 9). Gegenüber ersten Andeutungen an vorausgehenden Stellen dieser Arbeit werden die Fragestellungen im Folgenden konkretisiert (v. a. Tab. 6-1) und im Mehrebenenanalytischen Rahmenmodell sensu Rieß (2012, S. 160) verortet (vgl. Abb. 4-1 in Abschnitt 4.1). Angesichts der komplexen vielschichtigen Hintergründe und des umfangreichen Stands der Forschung ist es erst jetzt – nach einer iterativen Annäherung⁹⁰ in den Kapiteln 1 bis 5 – möglich, die eigenen Forschungsfragen auf den Punkt zu bringen.

Dieses Kapitel dient zum einen dazu, die Forschungsfragen des eigenen Projekts aus dem bereits Gesagten abzuleiten, zu präzisieren und deren fachdidaktische Relevanz herauszustellen. Zum anderen gilt es auch, die Teilstudien des Forschungsprojekts im Überblick vorzustellen, die in den Einzelbeiträgen eine Rolle spielen. Um weitere Redundanz zu minimieren, finden sich weitere detaillierte Hinweise zum jeweiligen Forschungsdesign dort und in weiteren Abschnitten des Anhangs, auf die im Folgenden lediglich verwiesen wird. Wie in Abschnitt 1.7 angesprochen empfiehlt sich die synoptische, sich wechselseitig ergänzende Lektüre des vorliegenden Kapitels und der Einzelbeiträge sowie sonstigen Anhänge in Kapitel 9.

Bevor die Forschungsfragen konkretisiert werden und auf die Teilstudien des Verfassers Bezug genommen wird, wird im Folgenden zunächst überblickshaft aufgezeigt, an welchen Stellen der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung die Arbeiten des Verfassers verortet sind. Im Rahmen des strukturierten Promotionskollegs e^xMNU (vgl. Rieß, Wirtz, Barzel & Schulz, 2012) widmete sich das Projekt „Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung“ der Untersuchung von Förderbarkeit bzw. Förderung und Mes-

⁹⁰ Deshalb lässt sich eine gewisse Redundanz nicht vermeiden.

sung ausgewählter Komponenten des Kompetenzbündels mit einem Schwerpunkt in der 6. Klassenstufe.

Was die Förderung betrifft wurden sowohl eine eigene *unterrichtliche Interventionsstudie* (vgl. Rösch, 2015; Roesch, Nerb & Riess, 2015; Rösch, Rieß & Nerb, 2012) als auch eine *Analyse von Schulbüchern und Lehrerhandreichungen* (vgl. Rösch, 2013) verwirklicht. Um die Effekte von Unterricht evaluieren bzw. Kompetenzerwerb diagnostizieren zu können, wurden in Verbindung mit der o. g. Wirkungsstudie *schriftliche Messinstrumente* für die Spezifika von Zielgruppe und Studien-Bedingungen adaptiert bzw. neu entwickelt (vgl. Rösch, 2015; Roesch, Nerb & Riess, 2015; Rösch, Rieß & Nerb, 2012). Neben domänenübergreifenden experimentellen Kompetenzen stand eine Fähigkeit im Fokus, die stark mit der Domäne der Unterrichtskonzeption, *(Wald-)Ökologie*, verbunden ist: Hierbei interessierte u. a. die dimensionale Struktur (vgl. Mayer & Wellnitz, 2014, S. 19) der unseres Wissens nach erstmalig in geschlossenem Itemformat operationalisierten Kompetenz *Verständnis für die Bedeutung von Beobachtungsdauer und Stichprobengröße* (s. Rösch, 2015, S. 13 ff.).

Im Folgenden soll als Erstes aufgezeigt werden, inwiefern Ökologie in der Interventionsstudie des Verfassers guten Grundes als Domäne der naturwissenschaftsdidaktischen Unterrichtsforschung in Zusammenhang mit der Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit herangezogen worden ist. Anschließend finden sich ergänzende Ausführungen und Erläuterungen zu den Teilstudien, die in den Einzelbeiträgen (s. Kapitel 9 im Anhang) beschrieben werden und dort zum Teil lediglich grob skizziert werden konnten.

6.1 Ökologie – bedeutsame und vernachlässigte Domäne Forschenden Lernens

Es ist keineswegs eine triviale Frage, in welchen *Domänen* die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit zum einen generell gelingen kann und zum anderen besondere Lernbedingungen bzw. -voraussetzungen begegnet (vgl. Abschnitt 4.12). In den vom Verfasser im Rahmen des o. g. Forschungsprojektes bearbeiteten beiden Teilstudien (vgl. Abschnitte 6.2 und 6.3) stand die Domäne *Ökologie* mit ihren Charakteristika und den damit verbundenen Chancen sowie Herausforderungen und Problemen im Fokus.

Dieser Abschnitt befasst sich daher ausführlich mit der Ökologie als Domäne Forschenden Lernens im Zusammenhang mit experimentellen Kompetenzen. Nachdem zunächst die Bedeutung der Ökologie als Domäne schulischen Lernens i. A. ausgeführt wird, schließen sich Einblicke in die unterrichtliche Nutzung dieses Themenfelds in Zusammenhang mit der Förde-

rung bzw. Anwendung experimenteller Problemlösefähigkeit an. Da im Rahmen des Einzelbeitrags von Rösch (2015) das Potential und die Schwierigkeiten der Domäne *Ökologie* nur ansatzweise illustriert werden konnten, finden sich im Folgenden weitere Gedanken dazu.

6.1.1 Bedeutsamkeit der Ökologie als Domäne schulischen Lernens

Dieser Abschnitt widmet sich dem *Bildungswert* (vgl. Gropengießer et al., 2010, S. 22 f.) ökologischer Themen. Dabei wird nach der Relevanz der Domäne *Ökologie* i. S. materialer und kategorialer Bildung im Hinblick auf Allgemeinbildung (vgl. Schaub & Zenke, 1995, S. 79 f.) gefragt.

Dass ökologische Fragestellungen sowie ein grundlegendes Verständnis ökologischer Zusammenhänge (vgl. Lindemann-Matthies und Stelzig, 2012, S. 220) und der Verflechtung ökologischer Phänomene mit Anthroposystemen im soziokulturellen, politischen und ökonomischen Bereich in der heutigen Gesellschaft eine *noch* größere Rolle als vor wenigen Jahrzehnten spielen, wurde in der Einleitung bereits angedeutet (vgl. Abschnitte 1.2 und 1.4). So zählt Klafki (1998, S. 236 ff.) die „Umweltfrage“ bzw. die „Ökologische Frage“ zu den „epochale[n] Schlüsselprobleme[n]“ (vgl. auch Hauenschild & Bolscho, 2005, S. 54; Hutter, Blessing & Köthe, 2012, S. 32, 55 – 142; Mutke & Barthlott, 2008, S. 53 ff.; Renn, 2006, S. 45 ff.). Auch der konzeptionelle Ansatz der „Syndrome des globalen Wandels“ (Rhode-Jüchtern, 2009, S. 123 ff.; vgl. auch Hauenschild & Bolscho, 2005, S. 61 ff.) greift diverse lokale, regionale und globale Veränderungen und Herausforderungen mit ökologischen Bezügen auf (vgl. Campbell & Reece, 2006, S. 1449 ff., 1466 ff.; Rieß, 2010 a, S. 28 ff.; Smith & Smith, 2009, S. 554, 756 ff., 778 ff.; van der Kraats & Humml, 2015). Es gilt mehr denn je, Umweltkrisen (vgl. Unterbrunner, 2013, S. 169) nicht nur einzudämmen und zu kompensieren, sondern darüber hinaus eine Nachhaltige Entwicklung (vgl. Grober, 2010, S. 249 ff.; Hauenschild & Bolscho, 2005, S. 31 ff.; Kremer, 2012, S. 11) zu gestalten. Dabei sind der Schutz der Biodiversität und der damit verbundenen Erhalt von Ökosystemdienstleistungen (vgl. Campbell & Reece, 2006, S. 1464 ff.; Sadava et al., 2011, S. 1632 ff.) unter gleichzeitiger Berücksichtigung von sozio-kulturellen und ökonomischen Bedürfnissen bestmöglich zu gewährleisten. Aktuelle Umfragen (vgl. Kolhoff, 2017) belegen, dass in großen aber weit nicht allen Teilen der Bevölkerung ein Bewusstsein für mitverursachte Umweltprobleme vorhanden ist, was jedoch in vielen Fällen noch nicht mit verantwortungsvollem Umwelthandeln verknüpft ist. Schulische Umweltbildung kann und sollte hier wichtige Beiträge leisten.

Folglich scheint die *Gegenwarts-* und *Zukunftsbedeutung* im Hinblick auf die *Gesellschaftsrelevanz* gegeben zu sein. Die *Wissenschaftsrelevanz* der Ökologie im Hinblick auf die

Bezugswissenschaft Biologie leuchtet ohnehin ein (vgl. Bolte & Schulte, 2014, S. 373; Campbell & Reece, 2006, S. 1461 ff.; Gropengießer et al., 2010, S. 22 f.; Jank & Meyer, 2009, S. 232 ff.; Meisert, 2012 a, S. 255 ff.; Schaub & Zenke, 1995, S. 101), handelt es sich doch um eine zentrale Teildisziplin, ohne die Phänomene anderer Forschungsfelder wie der Evolutions- oder Verhaltensbiologie nicht erklärbar wären. Vor diesem Hintergrund erscheint zweifelsfrei plausibel, dass Ökologie nach wie vor und mehr denn je eine curricular valide, also in *Bildungsplänen* für das Fach Biologie bzw. naturwissenschaftliche Fächerverbünde verbindlich festgelegte Domäne darstellt, darstellen muss (vgl. KMK, 2005 a, S. 6, 8 ff.; MKJS, 2004, S. 101 f.; MKJS, 2016 a, S. 25 ff.). Die institutionellen Vorgaben sehen vor, dass das Themenfeld *Ökologie* im Rahmen eines *Spiralcurriculums* in verschiedenen Klassenstufen der Sekundarstufe I und II auf jeweils anspruchsvollerem Niveau wieder aufgegriffen, vertieft und immer komplexer elaboriert wird (vgl. Schaub & Zenke, 1995, S. 331). Wie in Abschnitt 1.4 erwähnt, ist die *Bildung für Nachhaltige Entwicklung* (BNE), die auch *ökologische Bildung* umfasst (vgl. Hutter, Blessing & Köthe, 2012, S. 11 ff.), in den neuen baden-württembergischen Bildungsplänen sogar als eine zentrale überfachliche *Leitperspektive* schulischer Bildung verankert (s. MKJS, 2016 a, b).

Anlass dazu gab zweifelsohne auch eine politische Entwicklung auf globaler Ebene: In der 2015 von den *United Nations* verabschiedeten Agenda 2030 (Vereinte Nationen, 2015) wurden 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung und 169 Zielvorgaben beschlossen. Darunter finden sich unter „Ziel 4“ Perspektiven für eine „[...] hochwertige Bildung [...] für alle“ (ebd., S. 15), die u. a. die „Bildung für nachhaltige Entwicklung und nachhaltige Lebensweisen“ (ebd., S. 19, Teilziel 4.7) als ein zentrales Ziel schulischer Bildung in der Gegenwart und Zukunft hervorheben. Bereits seit der UN-Konferenz von Rio de Janeiro in 1992 spielen die Behandlung von ökologischen Themen und Aspekten des Umweltschutzes sowie Ökologische Bildung im Rahmen der *Bildung für Nachhaltige Entwicklung* (BNE) eine zentrale Rolle⁹¹ (vgl. Hauenschild & Bolscho, 2005, S. 58 ff.; Lindemann-Matthies & Stelzig, 2012, S. 217). Lernende sollen dabei u. a. auch die „ökologischen [...] Ursachen dieser [o. g.] Probleme“ erarbeiten (Hutter et al., 2012, S. 12).

Auch im deutschen Schulwesen kann der Inhaltsbereich *Ökologie* auf eine lange Tradition zurückblicken: Nicht erst, aber spätestens seit der Zeit, in der *Umwelterziehung* bzw. später *Umweltbildung* (vgl. Lindemann-Matthies & Stelzig, 2012, S. 216 f.) zu den Leitzielen (vgl. Gropengießer et al., 2010, S. 68 f.) von schulischer Bildung i. A. (vgl. Unterbruner, 2013, S. 172) und den Richtzielen von Biologie- und Chemieunterricht i. B. zählten, ist Ökologie eine essentielle Domäne im Biologieunterricht (vgl. auch Unterbruner, 2013, S. 169 ff.). Bereits

⁹¹ Dabei kommt der Vernetzung („Retinität“; Unterbruner, 2013, S. 171) der ökologischen Dimension mit den anderen Dimensionen nachhaltiger Entwicklung eine besondere Rolle zu, die zuvor, im Rahmen von Umwelt-erziehung und -bildung, einen geringeren Stellenwert besaßen (vgl. Hauenschild & Bolscho, 2005, S. 61; Lindemann-Matthies & Stelzig, 2012, S. 217).

einige Jahrzehnte zuvor wurden z. B. im Strukturansatz „Lebensgemeinschaften“ (vgl. Berck & Graf, 2010, S. 58 ff.) biozöologische und darüber hinausreichende ökologische Inhalte in den Mittelpunkt von Naturkunde- bzw. Biologieunterricht gerückt.

Bei der Auswahl von Unterrichtsdomänen und konkreten Lernkontexten sollten Parchmann, Ralle und Di Fuccia (2008, S. 36 f.) zufolge diverse weitere (s. o.) Kriterien erfüllt werden: darunter auch die *subjektiv wahrgenommene Relevanz* der Thematik seitens der Lernenden (vgl. Gräsel & Parchmann, 2004 a, S. 179), die Eignung für die Thematisierung von *Basis-konzepten* (vgl. Beyer, 2006; KMK, 2005 a, S. 8 f.) und das Potential zur Förderung bestimmter Kompetenzen aufgrund spezifischer Domänen- bzw. Kontextmerkmale und -eigenschaften. Naturschutz- und Umweltthemen sind für Heranwachsende nicht nur im Alltagsleben verortet und auf der kognitiven Sachebene interessant (vgl. Löwe, 1987, S. 63 ff.), sondern berühren sie auch in affektiver Dimension: Der Schutz der intakten Natur liegt vielen Jugendlichen nachgewiesenermaßen sehr ‚am Herzen‘ (vgl. Unterbruner, 2010, S. 110 ff.). Hieraus resultiert *Schülerrelevanz* – bezüglich der Gegenwart und, im Hinblick auf Konsumententscheidungen und Verhaltensweisen, auch der Zukunft. Manche Heranwachsende werden gegebenenfalls auch beruflich im Umweltsektor tätig sein.

Der *Bildungswert von Ökologie* als wichtige Domäne im Biologieunterricht im Allgemeinen steht nach dieser mehrperspektivischen Analyse fest.

6.1.2 Ökologie – Domäne für die Förderung von Experimentalunterricht (?)

In einem zweiten Schritt ist nun zu klären, welche Argumente explizit dafür sprechen, ökologische Inhalte auch für Forschendes Lernen i. A. und die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit i. B. heranzuziehen. Gräber, Nentwig und Nicolson (2002, S. 141) zufolge ist in diesem Zusammenhang das Potential einer Domäne von Bedeutung, „für Naturwissenschaften und Technik wesentliche Denkweisen, Methoden [...], Arbeitstechniken und Verfahren“ zu erarbeiten sowie „selbständiges Experimentieren der Schüler zu ermöglichen“. Insofern stellt sich die Frage: Kann bzw. sollte gar die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit in der Domäne *Ökologie* stattfinden?

Zunächst wird betrachtet, welche Erkenntnisse über die bisherige unterrichtliche Nutzung der Domäne *Ökologie* für experimentelles Forschendes Lernen vorliegen. Anschließend werden zum einen Herausforderungen und Schwierigkeiten für die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit in der Domäne *Ökologie* beleuchtet. Zum anderen werden diesen Nachteilen die didaktischen Chancen der Ökologie für den Aufbau wissen-

schaftsmethodischer und -theoretischer Fähigkeiten gegenübergestellt. Darauf folgen Überlegungen, inwiefern es sich anbietet, Lehr-Lernprozess in der Domäne *Ökologie* als Beitrag zur Bildung für Nachhaltige Entwicklung zu nutzen, indem der Unterricht im Kontext *Lokaler Flächennutzungskonflikt* verortet wird (s. auch Abschnitte 6.3.3.5 und 9.2.2; s. Rösch, 2015; Roesch, Nerb & Riess, 2015; Rösch, Rieß & Nerb, 2012).

Der Blick auf die zahlreichen in Tabelle 4-8 zusammengestellten Publikationen offenbart, dass bislang verhältnismäßig wenige Interventionsstudien zur Förderung experimenteller Kompetenzen in der Domäne *Ökologie* durchgeführt wurden. Es dominierten bis dato physikalische Themenbereiche (vgl. Abschnitt 4.13.4, Tab. 4-9), bei denen z. T. Einflussgrößen isoliert sind und nicht interagieren (vgl. Pick, 1981, S. 112), unabhängige Variablen lediglich dichotom gestuft und zahlreiche Effekte linear sind (vgl. Kuhn, Schauble & Garcia-Mila, 1992, S. 321). Ergo setzen sich die Lernenden dabei experimentell mit relativ wenig komplexen Systemen auseinander.

Ein ähnliches Bild, bezogen auf die Unterrichtspraxis in der Primarstufe, zeichnet Blaiseo (2010, S. 115 f.) in ihrer Studie: Bei der Analyse von Sachunterricht-Schulbüchern und -Bildungsplänen sämtlicher deutscher Bundesländer aus dem Jahr 2009 fand sie, dass der Anteil von Vorschlägen bzw. Vorgaben zu Experimenten wie auch anderen Erkenntnismethoden in belebten Systemen jeweils kleiner ist als in Themenfeldern der unbelebten Natur. Dies überrascht insofern, dass z. B. laut Klassen(-Tage-)buchanalysen in den Klassenstufen 3 und 4 in Baden-Württemberg bzw. Schleswig-Holstein (vgl. Altenburger & Starauschek, 2011) biologische Themen im Sachkundeunterricht gegenüber Inhalten der anderen Naturwissenschaften dominieren. In den Abschnitten 4.11.3 und 4.13.4 wurde bereits darauf hingewiesen, dass auch für die Sekundarstufe Studien vorliegen, laut denen im Unterricht komplexere Experimente zu ökologischen und verhaltensbiologischen Phänomenen nur eine untergeordnete Rolle spielten (s. auch Tab. 4-9).

Das ‚Mauerblümchendasein‘ der Domäne *Ökologie* in Zusammenhang mit Forschendem Lernen unter besonderer Berücksichtigung experimenteller Problemlösefähigkeit ist allerdings angesichts verschiedener Erfordernisse nicht zu begrüßen: Das „Erkennen und Verstehen von Systemzusammenhängen“ (de Haan, 2002, S. 19), z. B. dank analytischer Kompetenzen und angemessener Vorstellungen von ökologischen Ursache-Wirkungsbeziehungen, sind eine der notwendigen Voraussetzungen, eine Nachhaltige Entwicklung gestalten zu können (vgl. de Haan, 2002, S. 25; Hauenschild & Bolscho, 2005, S. 17 ff., 34 ff., 42 f.). So verwundert nicht, dass die Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (BLK) in 1998 für die didaktischen Prinzipien „System- und Problemorientierung“ in Zusammenhang mit BNE die Teilaspekte „Forschungs- und Methodenkompetenz“ betonte

(vgl. Hauenschild & Bolscho, 2005, S. 45, 47; Lindemann-Matthies & Stelzig, 2012, S. 218). Dabei sind forschend-entdeckende, handlungsorientierte Umwelterkundung und Computersimulationen als innovative Lernaktivitäten vorgesehen (vgl. Hauenschild & Bolscho, 2005, S. 48). Unterbruner (2013, S. 181) zufolge sind u. a. auch Experimente in der Domäne *Ökologie* bedeutsam, um Erkenntnisse über Beziehungen zwischen Systemelementen und Veränderungen durch anthropogene Eingriffe (vgl. Hutter et al., 2012, S. 15) zu analysieren.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Experimentalunterricht in der Domäne *Ökologie* ein großer Stellenwert zukommen sollte. Angesichts der beobachteten Realität ist zu fragen, welche Ursachen dem Sachverhalt zugrunde liegen, dass Lehrkräfte bislang Schülerexperimente meist in anderen Domänen ansiedeln. Auch soll in der eigenen Teilstudie „Schulbuchanalyse“ (s. Abschnitt 6.2) geklärt werden, ob Schulbücher und zugehörige Lehrerhandreichungen Aspekte wie Stichprobengröße, Beobachtungsdauer und Messwiederholungen thematisieren und die Förderung damit verbundener Kompetenzen vorsehen, die bedeutsame Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit in der komplexen Domäne *Ökologie* sind.

Die soeben angesprochene Komplexität dieser Domäne gilt es näher zu beleuchten, schließlich stellt sie nicht nur Lehrkräfte bei der unterrichtlichen Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit vor große Herausforderungen, sondern auch Wissenschaftler, die in dieser Domäne authentische ökologische Forschung betreiben.

6.1.3 Komplexität der Domäne *Ökologie* aus fachwissenschaftlicher Perspektive

„[...] in den 1980er- und 1990er-Jahren [wurde] durch verschiedene Studien deutlich, wie wenig wir immer noch über die Mitbewohner unseres Planeten, ihre Interaktionen und ihre Funktionen für die globalen Ökosysteme wissen“
(Mutke & Barthlott, 2008, S. 25)

Die *experimentelle Methode* stellt neben Beobachtungen und Untersuchungen eine zentrale Form *ökologischer Erkenntnisgewinnung* dar (vgl. Kremer et al., 2013, S. 1; Smith & Smith, 2009, S. 17; Sommer, 2005, S. 8 ff.; Townsend, Begon & Harper, 2009, S. 11 ff., 28 ff., 50 ff.), die angesichts der u. a. von Klafki (1998) angesprochenen zunehmenden Umweltprobleme (vgl. Abschnitt 6.1.1) auf der einen Seite und neuer Untersuchungsmethoden und der Entwicklung besserer Messgeräte auf der anderen Seite noch an Bedeutung gewonnen hat. Im Folgenden wird sowohl aufgezeigt, wie anspruchsvoll Experimente in der Fachdisziplin *Öko-*

logie, als auch wie begrenzt aussagekräftig deren Befunde sind.

„[...] bereits die Ursache/Wirkungs-Zusammenhänge in linearen Beziehungen
[sind] alles andere als einfach zu fassen [...].“

(Rathmann, 2008, S. 55; vgl. auch Kuhn, Schauble & Garcia-Mila, 1992, S. 322)

Bei Ökosystemen handelt es sich um autopoietische, also sich selbst organisierende, regulierende (vgl. Smith & Smith, 2009, S. 299 ff., 338 ff., 369 ff., 406 ff., 508) und erhaltende in Teilen lebende Systeme (vgl. Rempfler & Uphues, 2011 a, S. 5 f.). Für diese Phänomene ist die interne, endogene Umgestaltung von Beziehungen zwischen Systemelementen und Subsystemen (vgl. Ratter & Treiling, 2008, S. 23 f.) sowie die (Re-) Produktion konstituierender Elemente erforderlich. Voraussetzung für diese bzw. Konsequenz aus diesen Eigenschaften ist eine *hohe Systemkomplexität*. Als hochkomplexe nichtlineare lebende Systeme (vgl. Campbell & Reece, 2006, S. 1390, 1405 ff.; Komorek & Duit, 2004, S. 619 f.; MKJS, 2004, S. 204; Riess & Mischo, 2009, S. 2; Schulz et al., 2012, S. 30) weisen Ökosysteme ein hohes Maß an *Emergenz* auf, also an Unberechenbarkeit und Unvorhersagbarkeit (vgl. Campbell & Reece, 2006, S. 3 f.; Horstmann, 2004, S. 73; Pick, 1981, S. 116; Rempfler & Uphues, 2011 b, S. 23; Riess & Mischo, 2008, S. 136; Smith & Smith, 2009, S. 566 f.) sowie „einen geringeren Grad an Replizierbarkeit [...] als [...] [in] einfachen Systemen“ (von Lucadou, 1995, S. 178). Viele Phänomene sind *multikausal bedingt* (vgl. Berkowitz et al., 2005, S. 242) und beruhen auf „mehrschichtige[n] Verflechtungen und Rückkoppelungen, die zur Eskalation oder Stabilität der Systeme beitragen und je nach Maßstabebene Wirkungen unterschiedlichster Reichweite und Stärke haben können“ (Jahreiß, 2011, S. 34; vgl. auch Campbell & Reece, 2006, S. 1390). In der Biosphäre und in einzelnen Ökosystemen sind wiederum Systeme verschiedener hierarchischer (Struktur-) Ebenen (vgl. Campbell & Reece, 2006, S. XLVI, 1308 ff.; Sadava, Hillis, Heller & Berenbaum, 2011, S. 5 ff.) ineinander verschachtelt bzw. stehen auf gleicher Ebene miteinander in Wechselwirkung – etwa wenn natürliche Systeme mit (z. B. soziokulturellen oder ökonomischen) Humansystemen interagieren (vgl. Riess, 2013, S. 56, 59 f.). Verhaltenskomplexität (vgl. Egner & Ratter, 2008, S. 13; Ratter & Treiling, 2008, S. 28) und Emergenz-Phänomene nehmen über die hierarchisch gestuften biologischen Systemebenen hinweg zu.

Die *Aussagekraft ökologischer Experimente* und die *Übertragbarkeit ihrer Ergebnisse* sind somit aufgrund von Störgrößen, „Diskontinuitäten, Nicht-Linearität und Zufälle[n]“ (Ratter & Treiling, 2008, S. 26, 32) stark eingeschränkt – bezüglich *interner und externer Validität*. Grund hierfür sind diverse vielfältige und komplizierte Wechselwirkungen (vgl. Frischknecht-Tobler, Kunz & Nagel, 2008, S. 14, 19; Smith & Smith, 2009) biotischer und abiotischer Systemelemente innerhalb der bzw. zwischen den Systemebenen (vgl. Campbell & Reece, 2006,

S. 2 ff.; Rieß & Mischo, 2017, S. 3 f.)⁹² bzw. mit deren extrasystemaren Umwelt aufgrund des Austauschs von Energie, Materie und Informationen⁹³ (vgl. Campbell & Reece, 2006, 1431; Smith & Smith, 2009, S. 531 ff., 568, 634 f.) oder endogener Prozesse auf subsystemarer Ebene⁹⁴. Was die Analyse von Kausalbeziehungen überdies erschwert, ist „vor allem das Phänomen der Rückwärtsverursachung, das entsteht, wenn man von Wechselwirkungen und Rückkopplungen ausgeht. [...] eine strikte Trennung von Wirkursache und Finalursache [ist] sachlogisch nicht durchzuhalten und damit [ist] von einem viel komplexeren Kausalbegriff [als in weniger komplexen Domänen] auszugehen“ (Rathmann, 2008, S. 56).

Vor diesem Hintergrund stellen ökologische Experimente *methodologisch* hohe Anforderungen an die Forschung (vgl. auch Rieß & Mischo, 2017, S. 2): Um dem dynamischen Charakter der offenen in weiten Teilen lebenden und hochkomplexen Systeme (vgl. KMK, 2005 a, S. 9; Smith & Smith, 2009, S. 568) gerecht zu werden, müssen Experimente in der Ökologie angesichts zeitlich verzögerter (vgl. Campbell & Reece, 2006, S. 1394), sich langsam aufbauender oder indirekter Effekte oftmals über lange Zeiträume (vgl. Egner & Ratter, 2008, S. 11; Rempfler & Uphues, 2011 b, S. 25 f., 31), mit Messwiederholungen und in weitläufigen Arealen sowie mit größeren Stichproben durchgeführt werden (vgl. Arnold et al., 2013; Blaseio, 2010, S. 119; Campbell & Reece, 2006, S. 1308 f., 1447; Roberts & Gott, 2003, S. 119; Smith & Smith, 2009, S. 554 f.; Sommer, 2005, S. 10; Townsend et al., 2009, S. 10 f., 14, 31 ff.; Wess & Nellen, 2016, S. 368). Ansonsten ist die externe Validität i. S. von „Verallgemeinerungen über Zeiträume [und bestimmte Messzeitpunkte] hinaus“ (Rost, 2007, S. 113) eingeschränkt. Über die Zeit ändern sich allerdings sowohl endogene als auch exogene Rahmenbedingungen stetig. In Box 6-1 sind einige Phänomene dieses Wandels erläutert.

Box 6-1. Mögliche Ursachen von Unterschieden in der ökologischen Wirksamkeit

Innerhalb einer Organismenart können sowohl auf der Ebene des Individuums als auch der Population eine große Variation und Schwankungen von Wirkungen beobachtet werden, die von objektiv betrachtet qualitativ und quantitativ identischen Reizen ausgelöst werden (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 55; Naguib, 2006, S. 30). Ursächlich dafür können genetische oder andere endogene Faktoren sein (s. o.; vgl. auch Schulz et al., 2012, S. 30). Qualitative und quantitative Verhaltensvariationen können durch Erfahrungen (Lernprozesse), innere

⁹² die je nach betrachtetem Ausschnitt Untersuchungsgegenstand von Autökologie, Demökologie, Biozönologie, Synökologie oder Geoökologie sind (vgl. Billwitz, 1997, S. 637; Campbell & Reece, 2006, S. 1309 f., 1391; Smith & Smith, 2009, S. 8).

⁹³ diese sind je nach Fokussierung Gegenstand der Synökologie, Landschaftsökologie, Biosphärenökologie, Soziökologie oder peripher auch der Anthropogeographie (vgl. Billwitz, 1997, S. 639, 837; Campbell & Reece, 2006, S. 8 f., 1309 f.; DGfG, 2007, S. 11; Frischknecht-Tobler, Kunz & Nagel, 2008, S. 14; Köck, 2011, S. 11; Rempfler & Uphues, 2011 a, S. 5; Rhode-Jüchtern, 2009, S. 116).

⁹⁴ hiermit befasst sich die organismische Biologie und deren Teildisziplinen, z. B. Physiologie, Verhaltensbiologie, Pathologie, Zytologie (vgl. Campbell & Reece, 2006, S. 872 ff.; 999 ff.; Naguib, 2006).

Regulationsmechanismen (z. B. Habituation) als Reaktion auf exogene Stimuli, different ausgeprägte innere Zustände (z. B. Hormonkonzentration, Hunger, Müdigkeit; vgl. Naguib, 2006, S. 31, 59), unterschiedliche Genotypen oder ontogenetische Reifungsgrade (vgl. Naguib, 2006, S. 30) sowie physiologische oder anatomische Auswirkungen eines Befalls durch Pathogene oder Parasiten (vgl. Smith & Smith, 2009, S.403 ff.) bedingt sein. Darüber hinaus existieren saisonal oder tageszeitlich gesteuerte Verhaltensveränderungen (vgl. Smith & Smith, 2009, S. 211, 344 f.; Sommer, 2005, S. 158 f.). Bei in sozialen Gruppierungen lebenden Tieren sind überdies aufgrund des (z. T. variablen) sozialen Ranges innerhalb einer Population zeitlich veränderliche Verhaltensunterschiede bekannt (vgl. Naguib, 2006, S. 31). Die physiologische Toleranz entlang von Gradienten abiotischer Umweltfaktoren sowie die jeweilige Lage von physiologischen Optima und Pessima (vgl. Campbell & Reece, 2006, S. 117 f., 1315 ff.; Smith & Smith, 2009, S. 348, 352 ff., 456 ff.; Sommer, 2005, S. 47) unterscheidet sich zwischen Individuen derselben Art aufgrund genetischer Ursachen. Hieraus resultieren zum einen interindividuell verschiedene Effekte (vgl. Randler et al., 2015, S. 261), zum anderen auch intra-individuelle Unterschiede auf denselben Reiz in Abhängigkeit von den abiotischen Rahmenbedingungen als Folge spezifischer Toleranzwerte.

Um die Wahrscheinlichkeit systematischer Stichprobenfehler zu reduzieren, wäre eine *randomisierte Zuweisung* der Versuchsorganismen zu verschiedenen Experimentalgruppen vorzunehmen (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 54; Roberts & Gott, 2003, S. 119). Dies ist oft jedoch nur abgeschwächt in Form von Quasiexperimenten mit bestmöglich parallelisierten Klumpenstichproben umsetzbar (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 54; Rost, 2007, S. 116 ff.), wenn z. B. verhaltensbiologische Phänomene mit dem Sozialverhalten in klar definierten Familienverbänden oder festen Rudeln zusammenhängen. Um die *Reliabilität* zu erhöhen, sollten ökologische Experimente nach Möglichkeit mehrfach unter identischen Rahmenbedingungen durchgeführt werden. Dabei könnten allerdings verfälschende Reihenfolgeeffekte auftreten (vgl. Naguib, 2006, S. 27, 58 ff.; Schulz et al., 2012, S. 31 ff.). Unbedingt gilt es, ethische Kriterien und gesetzliche Vorgaben zu berücksichtigen und Belastung oder Beeinträchtigungen von Organismen zu vermeiden oder zumindest zu minimieren (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 41 ff.; Klingenberg, 2011, a, b, c).

Diverse Beziehungsverflechtungen bilden in Ökosystemen ein komplexes Wirkungsgefüge aus Lebewesen und deren Umwelt (Smith & Smith, 2009, S. 8), das als *Biozönotischer Konnex* (Kalusche, 1999, S. 83 f.) bezeichnet wird. Die Stellung (‘ökologische Rolle’) und Bedeutsamkeit einer Art oder eines Individuums innerhalb des biozönotischen Konnex’ bzw. in der Population können sich in Anbetracht des konkreten spezifischen methodologischen Designs massiv auf die Befunde ökologischer Experimente und deren Interpretation auswirken: In Ökosystemen gibt es beispielsweise dominante Arten, Schlussteinarten und ökosystemare Gruppen (Gilden), die Organismenarten mit ähnlicher funktioneller Rolle vereinen (vgl. Campbell & Reece, 2006, S. 1414 ff.; Smith & Smith, 2009, S. 447, 452 f.). In gut kontrollierten Mono-

spezies- oder Mehrspezies-Mikrokosmos-Experimenten (vgl. Sauermost & Freudig, 2000, S. 296; Sommer, 2005, S. 8 ff.) werden somit nach Manipulationen unter *Laborbedingungen* andere Ergebnisse zu erwarten sein als im *natürlichen Umfeld*, wo z. B. andere Arten oder Individuen Wirkungen abschwächen, kompensieren oder verstärken sowie Interaktionen in Zusammenhang mit bisystemischen Beziehungen wie Symbiose, Konkurrenz oder Antibiose (vgl. Kalusche, 1999, S. 68 f.) die Effekte von künstlichen Eingriffen modifizieren können. Dies wirkt sich auf die *ökologische Validität* der Experimente aus (vgl. Rost, 2007, S. 114 f., 118).

Freilandexperimente hingegen weisen eine höhere ökologische Validität auf. Jedoch sind sie zum einen höchst aufwändig durchzuführen, zum anderen aufgrund der Systemkomplexität und der großen Anzahl von Störgrößen schlecht zu kontrollieren (vgl. Sommer, 2005, S. 8 ff.; Townsend et al., 2009, S. 12), was zu Einbußen bezüglich deren internen Validität führt. Außerdem sind sie oft besonders langwierig (s. o.). Teilweise werden daher in der ökologischen Forschung auch *Modellsysteme* (mathematische Modelle, computerbasierte Simulationen oder gegenständliche Homologmodelle) zur Hypothesenprüfung bezüglich aktueller Phänomene oder zur Entwicklung von Zukunftsszenarien herangezogen (vgl. Filz, 2015; Ratter & Treiling, 2008, S. 26; Townsend et al., 2009, S. 12, 35 ff.).

Aufgrund der in diesem Abschnitt erläuterten Komplexität sind „Sicherheit, Reproduzierbarkeit und Vorhersagbarkeit der Ergebnisse“ (Moisl, 1988, S. 6) ökologischer Experimente stark eingeschränkt. Eine vollkommene Berücksichtigung und Kontrolle von Störgrößen und Randbedingungen sind also praktisch nicht zu leisten (vgl. Bollmann-Zuberbühler & Kunz, 2008, S. 37; Schulz et al., 2012, S. 30). A Campo und Langlet (2005, S. XIII) fassen dies treffend in Worte: „[Hoch komplexe lebende Systeme können] nur bedingt einer experimentellen Veränderung unterzogen werden [...]“. Da dies eine eindeutige Ursachenzuschreibung unmöglich macht (vgl. Moisl, 1988, S. 6; Schulz et al., 2012, S. 27), ist „[...] das Prinzip ‚gleiche Ursache, gleiche Wirkung‘ empirisch nicht zu verwirklichen [...]. Je präziser ein Ereignis charakterisiert wird, umso mehr verschwindet die Ursache in ein endloses Geflecht von Bedingungen“ (Rathmann, 2008, S. 56). Rathmann (2008, S. 66) spricht gar von komplexen und chaotischen, nur bedingt beschreibbaren „kausale[n] Netzwerken“. Der stark probabilistische Charakter und die limitierte Aussagekraft von Befunden aus ökologischen Experimenten sind somit offensichtlich (s. Box 2-2; vgl. Sommer, 2005, S. 7, 13; Smith & Smith, 2009, S. 21).

Eine methodologisch anspruchsvolle und äußerst aufwändige Herangehensweise, sich an ein besseres Verständnis von Ökosystemen zumindest ansatzweise heranzutasten, ist eine schrittweise Annäherung an deren Komplexität: Begonnen wird dabei mit stark *reduktionistischen* Mono-Spezies- bzw. Mikrokosmos-Multi-Spezies-Laborexperimenten, um grundlegende Kausalbeziehungen zu identifizieren. Dabei gewonnene Erkenntnisse werden zur Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten zur Beantwortung stärker differen-

zierender Fragen in Makrokosmos- und schließlich Feldexperimenten genutzt (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 57; Sauermost & Freudig, 2000, S. 296; Smith & Smith, 2009, S. 18 ff.; Sommer, 2005, S. 8 ff.).

In diesem Abschnitt wurde deutlich, dass ökologische Experimente in der Bezugswissenschaft *Biologie* bereits für Fachleute eine ernstzunehmende Herausforderung darstellen. Nun ist zu überlegen, inwiefern im unterrichtlichen Rahmen gegebenenfalls weitere Schwierigkeiten hinzukommen können.

6.1.4 Problematik und Nachteile der Domäne *Ökologie* für den Experimentalunterricht

Forschendes Lernen ist bereits insofern anspruchsvoll, dass dabei Lernaktivitäten neben dem Erwerb von *Fachwissen* zugleich die Erarbeitung bzw. Anwendung von herausfordernden Methoden der *Erkenntnisgewinnung* betreffen (vgl. Rieß & Robin, 2012, S. 148). Multiple Unterrichtsziele umfassen u. U. auch noch die Kompetenzbereiche *Bewertung* und *Kommunikation* (vgl. Abschnitt 4.9.6.4) sowie affektive Dimensionen. Experimentelles Problemlösen, basierend auf selbstständigem Reflektieren und Handeln, erfordert jedoch bereits per se vielfältige kognitive und metakognitive Kompetenzen (vgl. Abschnitte 3.3.2 und 3.3.3) – diese evozieren an sich bereits ein hohes Maß an kognitiver Belastung des Arbeitsspeichers des Gedächtnisses beim Lernen. Im Folgenden wird ausgeführt, inwiefern die Domäne *Ökologie* den Aufbau und die Anwendung experimenteller Problemlösefähigkeit aus fachdidaktischer und -methodischer sowie lernpsychologischer Sicht erschweren kann.

Die historischen didaktischen Strukturansätze „Lebensgemeinschaften“ bzw. „Ökologisches Konzept“ zogen Ökosysteme als „Anordnungsprinzip für den biologischen Unterrichtsstoff“ (Siedentop, 1968, zit. nach Berck & Graf, 2010, S. 59) heran. Berck und Graf (2010, S. 59 f.) zufolge gab es im Kreis der Fachdidaktik wie der Lehrerschaft zur damaligen Zeit einige Gegner, deren Argumente angesichts der Ausführungen in Abschnitt 6.1.3 plausibel erscheinen: Dabei wurden u. a. die Komplexität der Beziehungen und die Vielfalt von Systemelementen sowie die damit verbundenen „erheblichen Verständnisschwierigkeiten nicht nur bei Schülern, sondern auch bei Lehrern“ genannt. Berck und Graf (2010, S. 60) weisen darauf hin, dass solch anspruchsvolle, umfassende Themen mit Blick auf Komplexität und Zeitbedarf „vorwiegend für die Sekundarstufe II geeignet [erscheinen]“⁹⁵.

⁹⁵ Gleichzeitig sprechen sie sich aber dafür aus, Biozönosen und darin bestehende Wechselwirkungen zwischen Systemelementen auch bereits in der Sekundarstufe I zu behandeln, wobei die eigene Erarbeitung eine Rolle spielen solle.

In logischer Konsequenz bezeichnete Hedewig (1990, S. 83) den biologischen Inhaltsbereich *Ökologie* aus fachdidaktischer Sicht als „wenig oder gar nicht geeignet“, das Experiment „als Mittel zum Erkenntnisgewinn“ im Unterricht heranzuziehen. Er begründet dies mit der Schwierigkeit einer strikten Variablenkontrolle und multivariat verursachten Phänomenen (vgl. Smith & Smith, 2009, S.285 f., 604 ff.; Townsend et al., 2009, S. 93) in diesen „hochkomplexen Systemen“ (Hedewig, 1990, S. 83; vgl. auch Campbell & Reece, 2006, S. 1393, 1465 f.; Keselman, 2003; Mayer & Ziemek, 2006, S. 5; Meier & Wulff, 2012, S. 49; Moisl, 1988, S. 6; Puthz, 1988, S. 13; Riess, 2013, S. 60; Schaefer, 2002, S. 97). In der Domäne *Ökologie* erfordert experimentelle Problemlösung in besonders hohem Maß die „[Hin-]Zunahme von Fachinhalten, die zum Verstehen und zur [experimentellen] Lösung des Problems notwendig sind“ (Meier & Mayer, 2011, S. 133). Folglich benötigen Lernende enormes *Domänenwissen* über die betrachteten Systeme (vgl. Kuhn et al., 1992, S. 286; Mähler & Stern, 2006, S. 787) und besondere *wissenschaftsmethodische Kompetenzen*, die angesichts *domänenspezifischer Herausforderungen* methodologisch nötig sind, um zumindest ansatzweise intern und extern valide Befunde zu erhalten.

Wendet sich die ökologische Perspektive im Rahmen der *Umweltbildung* auch noch Human-Ökosystemen zu, indem z. B. anthropogen verursachte Umweltveränderungen (vgl. Rieß, 2010 b, S. 7) und Verflechtungen zwischen Mensch-Umweltsystemen betrachtet werden, so ergeben sich „hochkomplexe Problemstellungen“ (Lindemann-Matthies & Stelzig, 2012, S. 219). Diese erfordern neben dem ökologischen Domänenwissen (s. o.) *interdisziplinäre Kenntnisse* (vgl. ebd.) und *multiperspektivisches Denken und Abwägen* (vgl. Rieß, 2010 b, S. 6). Vorholzer et al. (2016, S. 30) zufolge erhöht die Notwendigkeit, z. B. in Kontexten der Umweltbildung oder BNE verschiedene Konzepte und Zusammenhänge bei einer Aufgabenlösung zu beachten und zu bedenken, zusätzlich auch die *Aufgabenkomplexität* infolge höherer *kognitiver Belastung*. Zusätzliche extrinsische kognitive Belastung reduziert jedoch die Problemlöseperformanz und Lerneffekte im Bereich der Erkenntnisgewinnung durch Experimentieren (vgl. Urhahne & Harms, 2006, S. 363), was die Wirksamkeit des Forschenden Lernens schmälert.

Eine weitere Überlegung betrifft die Intention, Schülerexperimente im Zuge der Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit schrittweise zu *öffnen* (vgl. Priemer, 2011). Wirth und Funke (2005, S. 55) umschreiben die Zielsetzung freien dynamischen Problemlösens allgemein – und damit auch eigenständigen Experimentierens im Besonderen – mit der eigenständigen „Steuerung eines [mehr oder weniger] unbekanntem dynamischen und mehr oder weniger komplexen Systems“ (vgl. auch Funke, 2013, S. 38). Angesichts der Dynamik (vgl. Frischknecht-Tobler, Kunz & Nagel, 2008, S. 15, 22; Kunz & Bollmann-Zuberbühler, 2008, S. 67) und weiterer komplexer Eigenschaften von Ökosystemen (s. Abschnitt 6.1.3) muss mit Wirth und Funke (2005, S. 55) gesprochen folgende Überlegung auch für ökologische Experi

mente gelten: „Da dynamische Systeme meist auch sehr komplex sind und das Wissen über ihre Struktur die Grenzen des Arbeitsgedächtnisses überschreitet, sind bei diesem Problemtyp Aspekte des (selbstregulierten) Lernens meist eine notwendige Voraussetzung für die erfolgreiche Steuerung des Systems“. Somit erfordert experimentelles Arbeiten in komplexen Domänen ein höheres Maß an *instrukionaler Unterstützung* (vgl. Stark et al., 1995, S. 289, 292, 304 f.). *Metakognitive* Unzulänglichkeiten können ansonsten zu Überforderung, Frustration und somit zu einer Abnahme der Lernmotivation und Strategienutzung führen (vgl. Abschnitte 4.9.7.7 und 4.9.8.2).

Angesichts dieser evidenten Notwendigkeit von umfangreichem Vorwissen und mehr instruktionaler Unterstützung in komplexen Domänen wie der *Ökologie* schlagen zahlreiche Fachdidaktiker „leicht[er] zu erschließende fachliche Kontexte“ vor (Meier & Wulff, 2012, S. 51; vgl. auch Fischer, 2010, S. 425; Meier & Wulff, 2013, S. 488): „Die Einfachheit sowohl der fachlichen Inhalte als auch der daraus konstruierten Problemstellung ermöglicht dem/der Schüler/in sich an dieser Stelle auf die Teilbereiche des Erkenntnisgewinnungsprozesses zu konzentrieren sowie deren Bearbeitung zu verstehen“ (Meier & Mayer, 2011, S. 133).

Hieraus resultiert die Annahme, dass komplexe Domänen wie *Ökologie*, zumal wenn diese im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht der Orientierungsstufe erstmalig eingeführt werden, für die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit und das damit verbundene eigenständige Experimentieren gegen Ende des *Cognitive Apprenticeship*-Prozesses nicht so gut infrage kommen wie weniger komplexe Domänen. Gleiches gilt für *anspruchsvolle Lernkontexte* im engeren Sinne, die Meier und Wulff (2012) explizit angesprochen haben (s. o.). Vor diesem Hintergrund plädiert Köhler (2008) in der Domäne *Ökologie* eher für *Untersuchungen* als Erkenntnismethode der Wahl, da angesichts der hohen Systemkomplexität (vgl. Meier & Wellnitz, 2013, S. 9) „eine ‚saubere‘ Faktorenanalyse wegen der zahlreichen Einflüsse [...] extrem schwierig“ (Köhler, 2008 b, S. 155) sei (vgl. auch Kircher & Dittmer, 2004, S. 17; Rieß & Mischo, 2008, S. 215).

Dass einerseits zu dieser theoretisch gut begründbaren Vermutung wie in den Tabellen 4-8 und 4-9 (Abschnitte 4.13 bzw. 4.13.4) ersichtlich bislang kaum Erfahrungswerte aus der empirischen Unterrichtsforschung vorliegen, die *Ökologie* und die Bildung für Nachhaltige Entwicklung andererseits jedoch im neuen Bildungsplan (MKJS 2016 c) eine wichtige Rolle spielen, war ein guter Grund, im eigenen Forschungsprojekt *Ökologie* dennoch als Domäne zu wählen. Eine weitere Intention bestand darin, Einflüsse systemischen Denkens auf experimentelle Kompetenzen zu untersuchen (vgl. Forschungsfrage F-12 in Tab. 6-1; s. auch Abschnitt 6.3.1.2).

6.1.5 Didaktisches Potenzial der Domäne *Ökologie* für den Experimentalunterricht

Den soeben beschriebenen Herausforderungen bzw. Nachteilen der Domäne *Ökologie* für die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit stehen auch *didaktische Vorteile* gegenüber, etwa bezüglich der *Reflexion von domänenspezifischen Herausforderungen* der experimentellen Erkenntnisgewinnung und dem *Aufbau entsprechender wissenschaftsmethodischer Fähigkeiten* sowie des damit verbundenen *wissenschaftstheoretischen Verständnisses*.

Angesichts der z. T. diffus erscheinenden und schwer untersuchbaren Ursache-Wirkungszusammenhänge (vgl. Abschnitt 6.1.3) können anhand ökologischer Experimente zum einen im Zeichen der Wissenschaftstheorie die „Besonderheiten biologischer Forschung“ und „Grenzen der naturwissenschaftlichen Methode in Bezug auf Lebewesen“ (Mayer & Ziemek, 2006, S. 5) herausgearbeitet werden. Zum anderen ist es möglich, Kompetenzen zu fördern, die sich auf die Beurteilung der reduzierten „Sicherheit, Reproduzierbarkeit und Vorhersagbarkeit der Ergebnisse“ (Moisl, 1988, S. 6) der Experimente beziehen (vgl. auch Mayer & Ziemek, 2006, S. 5). Überlegungen zur internen und externen – v. a. auch ökologischen – Validität (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 53 ff., 502 f.; Rost, 2007, S. 107 ff.; Sauermost & Freudig, 2000, S. 296; Sommer, 2005, S. 8 ff.) können bei ökologischen Experimenten hervorragend thematisiert werden. Angesichts der durch Arnold, Kremer und Mayer (2013) sogar noch in der gymnasialen Oberstufe diagnostizierten Schwächen bei der Berücksichtigung von Störgrößen, Messzeiten und Wiederholungen im Rahmen selbst geplanter Experimente (vgl. auch Arnold, 2015, S. 26) erscheint eine Förderung spezifischer experimenteller Kompetenzen in dieser Domäne als absolut notwendig und sinnvoll.

Weitere Argumente, die Ökologie bewusst als Domäne für Schülerexperimente und die damit verbundene Kompetenzförderung zu nutzen, ergeben sich angesichts der *Wissenschaftsrelevanz*: Experimente sind eine zentrale Erkenntnismethode in der Ökologie (s. Abschnitt 6.1.2; vgl. Campbell & Reece, 2006, S. 1315, 1343 ff., 1356, 1406, 1414, 1447 ff., 1475; Smith & Smith, 2009, S. 17 ff.; Sommer, 2005, S. 8 ff.). Mit Blick auf das Ziel der *ökologischen Grundbildung* bzw. *Umweltbildung* (vgl. McBride, Brewer, Berkowitz & Borrie, 2013, S. 10, 13, 16; Pfeifer et al., 2002, S. 56; Wiskamp, 2008, S. 35 ff.) sollte ihnen insofern unbedingt ein Platz im Unterricht eingeräumt werden.

Aktuelle Bildungspläne für die Sekundarstufen I und II sehen eine Erstbegegnung der Lernenden mit ökologischen Phänomenen in der Orientierungsstufe vor – also in der 5. oder 6. Klassenstufe (vgl. MKJS, 2004, S. 98, 101). Dabei bieten sich Experimente z. B. zu autökologischen Aspekten wie der Anpasstheit von Körper und Verhalten von Tieren an ausgewählte abiotische Umweltfaktoren in einem konkreten Lebensraum oder zu bioökologischen Phänomenen (Wechselwirkungen zwischen Organismen in einer Lebensgemeinschaft) an. Im

Zusammenhang mit der Synökologie könnte auch die Beeinflussung der Stoffumwandlung bei der Zersetzung oder Fotosynthese auf einfachem Niveau untersucht werden. Das heißt, es gibt durchaus Möglichkeiten, in dieser Kohorte ökologische Experimente durchzuführen.

6.1.6 Bildung für Nachhaltige Entwicklung – ein anspruchsvoller Lernkontext

Ein weiteres Argument liefert der Ansatz des *situierten, kontextualisierten Lernens*: Die Domäne *Ökologie* kann mit der ökonomischen und der sozio-kulturellen Dimension Nachhaltiger Entwicklung (vgl. Hauenschild & Bolscho, 2005, S. 34) verknüpft werden, indem entsprechende mehrperspektivische Phänomene im Sinn einer Bildung für Nachhaltige Entwicklung thematisiert werden (vgl. Riess, 2013, S. 56). Lernende sollen in entsprechend gestalteten Lernumgebungen darin gefördert werden, „sich in solchen komplexen Problemsituationen begründet und systematisch bei unterschiedlichen Handlungsoptionen zu entscheiden, um kompetent am gesellschaftlichen Diskurs um die Gestaltung von Nachhaltiger Entwicklung teilhaben zu können“ (Bögeholz, 2007, S. 209, zitiert nach Bögeholz, 2011, S. 32; dort steht die Passage kursiv). Solch ein Lernkontext führt vermutlich besonders gut vor Augen, welche Bedeutung naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung und die eigene „Forschungskompetenz“ (Hauenschild & Bolscho, 2005, S. 45) im Hinblick auf Urteils- und Entscheidungsfähigkeit sowie auf Problemlösekompetenz (vgl. ebd., S. 46, 49 f.) haben (vgl. Abschnitt 1.1 sowie Tab. 1-2). Ansätze zur Ökologischen und zur Umwelt-Bildung betrachten experimentelle Problemlösefähigkeit verständlicherweise als ebenso wichtigen Bestandteil (vgl. z. B. Berkowitz, Ford & Brewer, 2005, S. 239 ff.; McBride, Brewer, Berkowitz & Borrie, 2013, S. 10, 13, 16; Riess, 2013, S. 60) wie systemisches Denken, auf das weiter unten noch eingegangen wird (vgl. auch Rösch, 2015). Im Göttinger Modell der Bewertungskompetenz (vgl. Bögeholz, 2011, S. 35) stellt das „Generieren und Reflektieren von Sachinformationen“ eine wichtige Säule dar – experimentelle Kompetenzen können hier ergo einen wichtigen Beitrag leisten. Schließlich spielen analytische Fähigkeiten im Zusammenhang mit experimenteller Problemlösefähigkeit eine zentrale Rolle „für das Erkennen und Verstehen von Systemzusammenhängen“ (de Haan, 2002, S. 21) sowie für das Ableiten von „Schlussfolgerungen über ökologische, ökonomische und soziale Entwicklungen in ihrer wechselseitigen Abhängigkeit“ (de Haan & Gerhold, 2008, S. 6, zitiert nach Bögeholz, 2011, S. 33).

Eine unterrichtliche Einbettung der Domäne *Ökologie* in den Kontext der Umweltbildung bzw. Bildung für eine Nachhaltige Entwicklung (BNE) könnte vermutlich mithelfen, dem altersbedingten Interessenabfall in Biologie entgegenzusteuern (vgl. Löwe, 1987, S. 65). Realitätsnahe Kontexte wie „Naturschutz“ tragen bei vielen Lernenden in hohem Maße zu inhalts-

bezogenem Interesse bei (vgl. Meyer-Ahrens, Meyer, Witt & Wilde, 2014, S. 237 f.). Besonders Mädchen schätzen Kontexte aus dem Bereich *Natur* (vgl. van Vorst, 2013, S. 135), die sie als bedeutungsvoll und sinnstiftend erleben. Insofern sprechen mehrere Gründe – zumindest in der Theorie – dafür, innerhalb der Domäne *Ökologie* den Kontext BNE, z. B. in Zusammenhang mit Flächennutzungskonflikten (s. Abschnitte 6.3.3.5 und 9.2.2), heranzuziehen.

6.1.7 Fragen zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im eigenen Forschungsprojekt

Fachdidaktische Forschung interessiert im Hinblick auf die Output-Orientierung der Bildungspläne zum einen die Förderbarkeit, zum anderen die Maßnahmen und Voraussetzungen effektiver Förderung sowie Möglichkeiten, die Ausprägung entsprechender Kompetenzen zu messen.

In Zusammenhang mit diesen Forschungsdesideraten stellen sich u. a. die Fragen in Tabelle 6-1, denen im e*MNU-Projekt „Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung“ nachgegangen wurde. Sie lassen sich aus den Ausführungen über den aktuellen Stand der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung ebenso ableiten, wie darauf bezogene, in den Einzelbeiträgen ausformulierte Hypothesen begründet werden können. Die Fragestellungen des eigenen Forschungsprojekts sind in ganz unterschiedlichen Bereichen („Ebenen“) des Mehrebenenanalytischen Rahmenmodells sensu Rieß (2012, S.160) verortet.

Tab. 6-1. Verortung der Haupt-Fragestellungen im Mehrebenenanalytischen Rahmenmodell

Nr.	Fragestellung	Bereich(e)
F-1	Eignen sich ökologische Themen, um domänenübergreifende experimentelle wissenschaftsmethodische Fähigkeiten in Klassenstufe 6 einzuführen?	Unterrichtsprozesse: Lerngelegenheiten Fachliche Zielkriterien
F-2	Wie effektiv können (v. a. an Gymnasien) bewährte Konzepte zur Förderung grundlegender domänenübergreifender wissenschaftsmethodischer experimenteller Kompetenzen in einem anspruchsvollen BNE-Lernkontext in der Domäne <i>Ökologie</i> bei Lernenden mit mittlerem Leistungsvermögen (Realschule) umgesetzt werden?	Unterrichtsprozesse: Lerngelegenheiten / Unterrichtsmuster Fachliche Zielkriterien Individuelle Lernvoraussetzungen
F-3	Lässt sich die prozedurale experimentelle Kompetenz, gute epistemische Fragen formulieren zu können, bereits in der 6. Klassenstufe an Realschulen fördern, also nicht erst in 10. Gymnasialklassen?	Fachliche Zielkriterien Individuelle Lernvoraussetzungen

F-4	Welche (exemplarischen) kognitiven domänenspezifischen / -affinen Kenntnisse und Fähigkeiten spielen in der Domäne <i>Ökologie</i> neben domänenübergreifenden experimentellen Kompetenzen eine wichtige Rolle?	Fachliche Zielkriterien des domänenspezifischen Experimentalunterrichts
F-5	Wie lassen sich diese domänenspezifischen / -affinen Kompetenzen operationalisieren und valide, altersgerecht sowie ökonomisch erfassen?	Diagnostik im Zusammenhang mit o. g. Zielkriterien Individuelle Lernvoraussetzungen
F-6	Handelt es sich dabei um eine Dimension oder um zwei empirisch voneinander unterscheidbare Dimensionen?	Fachliche Zielkriterien Diagnostik
F-7	Lassen/Lässt sich diese domänenspezifische(n) / -affine(n) experimentelle(n) Kompetenz(en) bereits in der 6. Klassenstufe an Realschulen effizient fördern?	Fachliche Zielkriterien Individuelle Lernvoraussetzungen
F-8	Wirkt sich neben bzw. außer dem Aufbau von ökologischem Domänenwissen bzw. wissenschaftstheoretischem Verständnis auch die Förderung systemischen Denkens günstig auf den Erwerb dieser domänenspezifischen experimentellen Kompetenz(en) aus?	Unterrichtsprozesse: Lerngelegenheiten Fachliche Zielkriterien
F-9	Welcher Benefit und welche Herausforderungen für das Lernen ergeben sich durch die Nutzung eines anspruchsvollen Lernkontextes, der in der Bildung für Nachhaltige Entwicklung angesiedelt ist?	Unterrichtsprozesse: Lerngelegenheiten / Unterrichtsmuster Fachliche und fächerübergreifende Zielkriterien
F-10	Werden entsprechende domänenübergreifende und domänenspezifische / -affine Kompetenzen in Schulbüchern und Lehrerhandreichungen der Orientierungsstufe thematisiert und in konkreten Lernaktivitäten, Förderangeboten und Unterrichts Anregungen berücksichtigt?	Fachliche Zielkriterien Lehr- / Lernmaterialien
F-11	(Auf welche Weise) wird der Terminus „Experiment“ in diesen Schulbüchern und Lehrerhandreichungen gehandhabt?	Lehr- / Lernmaterialien Fachliche Zielkriterien
F-12	Wie könnte – auf der Basis der Erkenntnisse aus der eigenen Interventionsstudie und konzeptioneller Überlegungen – eine Lernumgebung für die Orientierungsstufe und Lernende mittleren Leistungsvermögens zur Förderung der domänenübergreifenden Grundlagen von experimenteller Problemlösefähigkeit und damit verbundenem Wissenschaftsverständnis gestaltet sein?	Unterrichtsprozesse: Lerngelegenheiten / Unterrichtsmuster Individuelle Lernvoraussetzungen Fachliche Zielkriterien Lehr- / Lernmaterialien

Anmerkungen. Nr.: Nummer der Forschungsfrage. Bereich(e): Ebene(n) innerhalb des Mehrebenenanalytischen Rahmenmodells (vgl. Rieß, 2012, S. 160; s. Abb. 4-1, Abschnitt 4.1) bzw. Forschungsfeld.

Die einzelnen in Tabelle 6-1 wiedergegebenen Forschungsfragen können den beiden Teilstudien des Verfassers zugeordnet werden, die in den folgenden beiden Unterkapiteln genauer vorgestellt werden.

6.2 Teilstudie 1: ***Analyse von Schulbüchern und Lehrerhandreichungen***

Wie in den Abschnitten 4.13.4 und 6.1.2 festgestellt, liegen derzeit kaum Erkenntnisse vor, ob und inwiefern die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit in der Domäne *Ökologie* effektiv möglich ist, im Unterricht realisiert werden kann bzw. in schulpraxisorientierten Printmedien berücksichtigt wird (vgl. Forschungsfragen F-1, F-2, F-7, F-10 in Tab. 6-1). Eine Teilstudie des Forschungsprojekts widmete sich daher Schulbüchern, die im Bundesland Baden-Württemberg zum Zeitpunkt der Interventionsstudie (s. Abschnitt 6.3) in der interessierenden Klassenstufe eingesetzt wurden und den von den Verlagen dazu angebotenen Lehrerbänden bzw. -handreichungen. Im Mehrebenenanalytischen Rahmenmodell (s. Abb. 4-1) betrifft dies die Ebenen „Medien“, „Zielkriterien“ sowie auch die Ebene der „Lehrermerkmale“, wenn man an das – theoretische – Potenzial von Lehrerhandreichungen und Schulbüchern denkt, didaktisch-methodische Kompetenzen der (v. a. fachfremd oder bereits seit langer Zeit unterrichtenden) Lehrkräfte positiv beeinflussen und auf einen aktuelleren Stand didaktischer Forschung bringen zu können.

6.2.1 Forschungsziele

Im Hinblick auf die in der Interventionsstudie (Rösch, 2015; Roesch et al., 2015; Rösch et al., 2012; vgl. Abschnitt 6.3) fokussierte Domäne *Ökologie* und die dort bedeutsame Fähigkeit, die Aussagekraft von Experimenten hinsichtlich der Kriterien *Stichprobengröße* und *Beobachtungsdauer* beurteilen zu können (vgl. auch Arnold et al., 2013), wurden die Schulbücher und Lehrerbände nach entsprechenden Informationen und Lernaktivitäten untersucht. Es sollte geklärt werden, ob die Werke solche domänenspezifischen Kompetenzen derzeit bereits ansprechen und ob diese Informationen und Lernangebote bei der Unterrichtsgestaltung prinzipiell genutzt werden könnten (vgl. Forschungsfrage F-10 in Tab. 6-1). Dies war insofern interessant, dass zum einen domänenübergreifende experimentelle Kompetenzen in dieser Kohorte bereits gefördert werden sollen (vgl. Abschnitt 1.4) und nachweislich gefördert werden können (vgl. Abschnitt 4.7.1.1) und zum anderen ökologische Themen curricular in den unteren Klassen der Sekundarstufe I verankert sind (vgl. Abschnitt 1.4).

Des Weiteren sollten angesichts lückenhafter früherer Schulbuchanalysen (z. B. Aufdermauer & Hesse, 2006) zur Förderung von domänenübergreifenden wissenschaftsmethodischen experimentellen Kompetenzen und zur damit verbundenen Binnendifferenzierung Erkenntnisse gesammelt werden:

- Angesichts des Kritik beispielsweise von Lethmate (2003, 2006) an der unsauberen Verwendung des Begriffs „Experiment“ in Geographie-Schulbüchern stand die Umsetzung in Schulbüchern und Lehrerhandreichungen im Fächerverbund „Naturwissenschaftliches Arbeiten“ überdies im Fokus: Unterstützen aktuelle Schulbücher für Naturwissenschaften in der Orientierungsstufe den Aufbau eines gemeinsamen (vgl. Barzel, Reinhoffer & Schrenk, 2012, S. 109), eindeutigen „Experiment“-Begriffs und somit eines klaren Methodenverständnisses (vgl. Forschungsfrage F-11 in Tab. 6-1)?
- Werden in den Schulbüchern und / oder Lehrerhandreichungen Stichprobenumfang und Beobachtungsdauer als Kriterien für die Aussagekraft von Experimenten und die Gültigkeit der gewonnenen Befunde thematisiert?
- Enthalten Lehrerhandreichungen zu Schulbüchern grundlegende Informationen zur experimentellen Methode im engeren Sinn (vgl. Abschnitt 2.1) per se (vgl. Forschungsfragen F-10 und F-11 in Tab. 6-1)?
- Erhalten Lehrkräfte anhand aktueller Lehrerhandreichungen didaktisch-methodische Impulse für kompetenzförderlichen Experimentalunterricht (vgl. Forschungsfrage F-11 in Tab. 6-1)?

6.2.2 Ergänzende Hinweise zum Procedere gegenüber den Angaben im Einzelbeitrag

Bei mehreren Schulbuchverlagen wurde schriftlich angefragt, ob diese zum Zweck einer Schulbuchanalyse die entsprechenden Werke für die 5. und / bzw. 6. Klassenstufe für Realschulen in Baden-Württemberg bereitstellen würden. Es wurde in Aussicht gestellt, dass die zentralen Befunde den Verlagen rechtzeitig zur Konzipierung der neuen Schulbuch-Generation in Zusammenhang mit der 2016/17 implementierten Bildungsplan-Reform vorab mitgeteilt würden. Im Mai 2011 erhielten die ‚großzügigen‘ Verlage wie angekündigt diese Ergebnisse und hatten die Gelegenheit, diese Befunde bei der Neugestaltung zu berücksichtigen.

Die Datenerhebungsbögen für Lernaufgaben bzw. Informationen in Schulbüchern sowie Hinweise und Impulse in Lehrerhandreichungen finden sich im Anhang (s. Abschnitt 9.1.2).

Im Einzelbeitrag Rösch (2013) finden sich sämtliche weiteren Informationen bezüglich theoretischem Hintergrund und Stand der Forschung, Forschungsfragen, Durchführung und Befunden. An dieser Stelle soll daher nicht weiter darauf eingegangen werden, um redundante Informationen in Grenzen zu halten.

6.3 Teilstudie 2:

Interventionsstudie in der Domäne Ökologie als Beitrag zu BNE

Als Beitrag zur naturwissenschaftsdidaktischen Unterrichtsforschung (s. Abschnitt 1.5) widmete sich die Wirkungsstudie des Verfassers der Förderbarkeit ausgewählter experimenteller Kompetenzen in einer Lernumgebung, welche sich durch mehrere anspruchsvolle Merkmale auszeichnete. Die folgenden Ausführungen umreißen diese zweite Teilstudie lediglich grob. Für weitere Teilinformationen sei an dieser Stelle ebenfalls auf die Einzelbeiträge (Rösch, 2015; Roesch et al., 2015; Rösch et al., 2012) verwiesen. Im Rahmen des vorliegenden Manteltextes sollen jedoch hier sowie im Anhang noch zusätzliche Details angeführt werden, für deren Darstellung es in den Einzelbeiträgen keinen Platz gab. Dazu gehören genauere Erläuterungen zu Aspekten des *Studiendesigns* (s. Abschnitte 6.3.2 und 6.3.3) sowie die *Testinstrumente* (s. Abschnitte 9.1.2 und 9.2.3), *Kodierleitfäden* (s. Abschnitte 9.1.2.1, 9.1.2.2, 9.1.2.3 und 9.2.3.3) und eine *Übersicht über das Treatment EXP* zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit bzw. ausgewählte didaktisch-methodische Entscheidungen (s. Abschnitte 6.3.3.3, 6.3.3.4, 6.3.3.5 und 9.2.2), welche die Ebene der *Unterrichtsprozesse* betreffen (vgl. Abb. 4-1).

6.3.1 Forschungsziele

6.3.1.1 *Konkretisierung der Forschungsfragen zur Wirksamkeit des Treatments „EXP“*

Vor dem Hintergrund der Vielzahl früherer Studien zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit gilt es, eine weitere Untersuchung anhand noch bestehender Forschungsdesiderate in Form entsprechender Fragestellungen explizit zu legitimieren. Im Mittelpunkt der eigenen Interventionsstudie standen folgende Forschungsfragen, die in den Einzelbeiträgen (Rösch, 2015, Roesch et al., 2015; Rösch et al., 2012) noch präzisiert werden:

- Eignet sich die komplexe Domäne *Ökologie* zur Einführung domänenübergreifender experimenteller Kompetenzen in der Orientierungsstufe (vgl. Forschungsfrage F-1 in Tab. 6-1)? In welchen Bereichen tauchen welche Arten von Herausforderungen auf?
- Lassen sich hauptsächlich in Gymnasialklassen erprobte Fördermaßnahmen auch auf *weniger leistungsfähige Lerngruppen*, z. B. auf Probanden an Realschulen, übertragen (vgl. Forschungsfrage F-2 in Tab. 6-1)? (vgl. Abschnitte 4.5 und 4.13.3)
- Überwiegen die positiven Effekte auf die Förderung von Kompetenzen, die kontextbasierten Lehr-Lernprozessen zugeschrieben werden, wenn *Lernkontexte* mehrere

Kompetenzbereiche des Bildungsplans gleichzeitig berücksichtigen, wie manche Fachdidaktiker propagieren – z. B. mit dem Ziel, besser zur Bildung für Nachhaltige Entwicklung beizutragen (vgl. Forschungsfrage F-2 in Tab. 6-1)? (vgl. Abschnitte 4.9.6.3 und 4.9.6.4)

- Ist es möglich, ein grundlegendes Niveau bestimmter domänenübergreifender Kompetenzen (*Formulierung epistemischer Fragen*) bzw. stärker domänenaffiner Kompetenzen (*Verständnis für die Bedeutung von Beobachtungsdauer und Stichprobengröße*) bereits in der 6. Klassenstufe zu fördern – als Fundamentum für ein längerfristiges Spiralcurriculum (vgl. Forschungsfragen F-3, F-7 in Tab. 6-1)? (vgl. Abschnitt 4.7.1.1)
- Wie könnte – auf Grundlage der in dieser Arbeit präsentierten Befunde – eine exemplarische *Unterrichtseinheit* für die Orientierungsstufe aussehen, anhand derer auch in nicht-gymnasialen Lerngruppen grundlegende Kompetenzen experimenteller Problemlösefähigkeit voraussichtlich gefördert werden (vgl. Forschungsfrage F-12 in Tab. 6-1)? (vgl. Abschnitte 4.5 und 4.13.3; s. Rösch, 2012)
- Für welche domänenübergreifenden Kompetenzen spielt *ökologisches Domänenwissen* eine Rolle? (vgl. Abschnitte 3.3.2.1 und 3.3.2.2)

6.3.1.2 Forschungsfrage zur Wirkung des Treatments „SYS“

Neben der Treatmentbedingung EXP (s. Abschnitt 6.3.3) wurde im Rahmen des Forschungsprojekt-Verbunds mit SYSDENA die Treatmentbedingung SYS (vgl. Vogel, 2010; Vogel et al., 2011) realisiert und mit den Experimentalbedingungen EXP sowie KG_{Öko} parallelisiert (s. Abschnitt 6.3.3.3). Diesem forschungsmethodologischen Procedere liegt folgende Forschungsfrage zugrunde (s. auch Rösch, 2015):

- Trägt systemisches Denken zu einer vergleichsweise besseren Performanz der Kompetenz *Verständnis für die Bedeutung von Beobachtungsdauer und Stichprobengröße* oder von deren Subdimensionen bei, ohne, dass Experimente oder externe Validität im Treatment SYS thematisiert werden (vgl. Forschungsfrage F-12 in Tab. 6-1)? (vgl. Abschnitte 6.1.3 und 6.1.5)

Die Hypothese, dass Versuchspersonen mit einer vergleichsweise hohen Fähigkeit zum systemischen Denken angemessenere Vorstellungen für die Bedeutung längerfristiger Beobachtungen und von größeren Stichproben aufbauen könnten, soll im Folgenden noch be-

⁹⁶ Förderung systemischen Denkens (s. Abschnitt 6.3.3.1)

gründet werden.

Die Ökologie stellt eine Teildisziplin der Biologie dar, bei der es in hohem Maße um eine systemische Betrachtungsweise geht, untersucht sie doch die wechselseitigen „Beziehungen zwischen Organismen untereinander und mit ihrer Umwelt“ (Smith & Smith, 2009, S. 2, 7) im weitesten Sinn. Da Experimente reduktionistisch vorgehen und lediglich ausgewählte Subsysteme und deren Elemente analysieren (vgl. Campbell & Reece, 2006, S. 4), ist ein Metawissen über diese Vorgehensweise und die damit verbundene Begrenzung der Aussagekraft und Übertragbarkeit, also der internen und externen Validität, eine wichtige Voraussetzung, um die Suche im Experimentraum (vgl. Klahr, 2000) mit methodologisch angemessenen Designs (vgl. z. B. Naguib, 2006, S. 58 f.) und die Interpretation sowie Diskussion der empirischen Evidenz erfolgreich zu meistern. Riess (2013, S. 61) spricht diesbezüglich das Bewusstsein für „emergente Eigenschaften, Intransparenz, chaotisches Verhalten, Unberechenbarkeit, große Zahl an Neben- und Fernwirkungen, Vernetztheit“ an, um komplexe Systeme besser verstehen zu können. Gerade dieses Bewusstsein ist nötig, um u. a. Störgrößen, Interaktionen unabhängiger Variablen und Langzeiteffekte zu antizipieren und methodologisch zu berücksichtigen.

Systemdenken stellt insofern vermutlich eine gute Voraussetzung dar, komplexe Problemstellungen zu lösen (vgl. Frischknecht-Tobler, Kunz & Nagel, 2008, S. 12). Die Aussagekraft und Übertragbarkeit i. S. externer Validität bei der Planung bzw. Interpretation oder Beurteilung ökologischer Experimente zu berücksichtigen, kann als eine komplexe Problemstellung betrachtet werden (vgl. Abschnitte 3.1 und 6.1.3). Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob bereits die Förderung *systemischen Denkens* im ökologischen Kontext ein grundlegendes Bewusstsein für Kriterien der externen Validität ökologischer Experimente fördern kann.

Spätestens an dieser Stelle gilt es, „systemisches Denken“ bzw. „Systemdenken“ (Frischknecht-Tobler, Kunz & Nagel, 2008, S. 11) begrifflich zu fassen. Es handelt sich hierbei vermutlich um „ein Bündel von Fähigkeiten“ (Dörner, 2004, S. 327, zitiert nach Frischknecht-Tobler, Kunz & Nagel, 2008, S. 18; vgl. auch Seybold, Frischknecht-Tobler & Nagel, 2008, S. 150), die helfen, mit „Dynamik zusammen mit Komplexität und Intransparenz“ bei „komplexen Problemstellungen“ innerhalb von Systemen besser umzugehen (Frischknecht-Tobler, Kunz & Nagel, 2008, S. 18; vgl. auch Riess, 2013, S. 61; Rost, Lauströer & Raack, 2003, S. 10). Frischknecht-Tobler, Kunz und Nagel (2008, S. 20) definieren das Konstrukt wie folgt: „Systemisches Denken ist die Fähigkeit, komplexe Wirklichkeitsbereiche als Systeme zu beschreiben, zu rekonstruieren und zu modellieren und auf der Basis der Modellierung Erklärungen zu geben, Prognosen – unter Berücksichtigung der Eintretenswahrscheinlichkeit und der Modellgrenzen [...] zu treffen und Handlungsmöglichkeiten zu entwerfen und zu

beurteilen“ (vgl. auch Funke, 2013, S. 39; Parchmann, 2010, S. 26; Rempfler & Uphues, 2011 b, S. 24; Rieß & Mischo, 2008, S. 218). Systemdenken umfasst folglich u. a. die Fähigkeiten, Wechselbeziehungen zwischen Systemelementen und somit Strukturen und Prozesse zu ergründen (vgl. Lethmate, 2009, S. 7; Pick, 1981, S. 120, 126 f.; Rempfler & Uphues, 2011 b, S. 23, 26) sowie das Systemverhalten zu verstehen und es gegebenenfalls auf Grundlage von Modellen und damit verbundenen Simulationen steuern zu können (vgl. Frischknecht-Tobler, Kunz & Nagel, 2008, S. 19). Zum systemischen Denken gehört demnach auch die Analyse von Kausalbeziehungen (vgl. Riess & Mischo, 2009, S. 3; Rost et al., 2003, S. 11; Vollmeyer et al., 1996, S. 81) – eine Gemeinsamkeit mit der experimentellen Methode, wenngleich die methodische Herangehensweise nicht identisch ist. Im Zusammenhang mit naturwissenschaftlichen Problemstellungen heben Grotzer und Perkins (vgl. Frischknecht-Tobler, Kunz & Nagel, 2008, S. 19 f.) u. a. die Beurteilung der Wahrscheinlichkeit als eine zentrale Dimension im Umgang mit komplexen Problemsituationen hervor: „Wie gesichert und wahrscheinlich sind mögliche Wirkungszusammenhänge?“ (ebd., S. 20). Die Nähe zum Verständnis externer Validität sticht ins Auge. Im Hinblick auf die Systemdenken-Dimensionen *System-Rekonstruktion* bzw. *-Organisation* (vgl. Frischknecht-Tobler, Kunz & Nagel, 2008, S. 20, 29; Kunz & Bollmann-Zuberbühler, 2008, S. 56 ff.) könnte möglicherweise ein Schnittfeld zwischen Systemdenken und experimenteller Problemlösefähigkeit bestehen: Beide Konstrukte erfordern wissenschaftliches Denken (vgl. Frischknecht-Tobler, Kunz & Nagel, 2008, S. 27; Mayer, 2007; Mayer & Ziemek, 2006) sowie Kompetenzen, „Beziehungen zwischen den Systemelementen“ zu identifizieren und zu analysieren (Frischknecht-Tobler, Kunz & Nagel, 2008, S. 28) und Prognosen über Veränderungen zu erstellen (vgl. Frischknecht-Tobler, Kunz & Nagel, 2008, S. 29 f.; Kunz & Bollmann-Zuberbühler, 2008, S. 62; Schreiber, Theißen & Schecker, 2009). Da sich komplexe Systeme u. a. durch Dynamik auszeichnen (vgl. Frischknecht-Tobler, Kunz & Nagel, 2008, S. 22; Rempfler & Uphues, 2011 a, S. 5 ff.), spielen das „Erkennen von Veränderungen im Verlaufe der Zeit“, „kurz- und langfristige Folgen [zu] identifizieren“ sowie das „Erkennen [...] und Voraussagen von [...] langfristigen Wirkungen“ (Frischknecht-Tobler, Kunz & Nagel, 2008, S. 27) sowohl beim systemischen Denken als auch beim Experimentieren in der Domäne *Ökologie* (vgl. Campbell & Reece, 2006, S. 1447 ff.) eine wichtige Rolle. In jedem Fall ist dabei Domänenwissen von Bedeutung.

Daneben soll in diesem Zusammenhang ein weiterer, unterrichtsmethodischer Gesichtspunkt beleuchtet werden: Sowohl bei der Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit (z. B. Borgenheimer & Weber, 2009; Eckhardt, 2010; Künsting, 2007; Thillmann, 2007) als auch systemischen Denkens (vgl. Bollmann-Zuberbühler & Kunz, 2008, S. 37 ff., 52; z. B. Riess & Mischo, 2008; Riess & Mischo, 2009; Stollenwerk, 2008) erweisen sich *computerbasierte Experimentierumgebungen* als geeignete Methode zur Systemanalyse (vgl. Bollmann-

Zuberbühler & Kunz, 2008, S. 52; Riess, 2013, S. 62 f.). Wie Eckhardt (2010) erfolgreich zeigte, können Probanden interaktiv-experimentell das Verhalten von Ökosystemen erkunden und Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen Systemelementen mehr oder weniger planvoll analysieren – i. S. dynamischen Problemlösens (vgl. Leutner, Funke, Klieme & Wirth, 2005, S. 17 f.; Wirth & Funke, 2005, S. 55 f.). Je nach Verfügbarkeit von Vorwissen zum jeweiligen System ist dabei ein exploratives oder/und konfirmatorisches Procedere möglich (vgl. Bollmann-Zuberbühler & Kunz, 2008, S. 40; Wirtz & Schulz, 2012, S. 61 ff.). Systemisches Denken – v. a. auch in der Kombination mit Computersimulationen (vgl. Seybold, Frischknecht-Tobler & Nagel, 2008, S. 150) – könnte dabei das Bewusstsein für „die Komplexität von Systemen“ schärfen helfen, was auch für die Beurteilung externer Validität nötig ist.

Sollte sich systemisches Denken als vorteilhaft für den Erwerb bestimmter experimenteller Kompetenzen erweisen (vgl. Forschungsfrage F-8 in Tab. 6-1), so ist darüber nachzudenken, ob man die beiden Kompetenzbündel – experimentelle Problemlösefähigkeit und systemisches Denken – in einem Zusammenspiel von Unterrichtsprozessen und miteinander in Verbindung stehenden Zielkriterien (besser) aufeinander beziehen und ggf. auch computer-gestützte Modellierungen und interaktive Simulationen von Ökosystemen als effektive Medien im Unterricht einsetzen sollte (s. Abb. 4-1), um deren zahlreichen Vorzüge (vgl. Abschnitt 4.11.2) zur Förderung von Kompetenzen beider Konstrukte zu nutzen.

6.3.1.3 Forschungsfragen zur Entwicklung eines geeigneten Messinstruments

Um die Forschungsfragen der Interventionsstudie des Verfassers beantworten zu können, war zum einen die Herausforderung zu meistern, nach bereits erprobten Testinstrumenten für domänenübergreifende experimentelle Kompetenzen zu suchen und diese an die Zielgruppe (vgl. Abschnitte 4.5, 4.7.1.1 und 6.3.2) sowie an die organisatorischen Bedingungen (u. a. begrenzte Bearbeitungszeit; vgl. Abschnitt 6.3.3.2) anzupassen. Zum anderen galt es, für eine bestimmte domänenspezifische Komponente experimenteller Problemlösefähigkeit im Bereich der Ökologie ein neues schriftliches Instrument zu entwickeln, für die bislang nur wenige Messinstrumente vorliegen (z. B. Arnold et al., 2013), die sich darüber hinaus nicht optimal für untere Klassen der Sekundarstufe I eignen:

- Wie lässt sich das hypothetische Konstrukt *Verständnis für die Bedeutung von Beobachtungsdauer und Stichprobengröße* für Probanden der 6. Klassenstufe an Realschulen geeignet operationalisieren (vgl. Forschungsfrage F-5 in Tab. 6-1)?

- Liegt beim interessierenden Konstrukt Eindimensionalität vor oder wird empirisch die theoretisch postulierte Zweidimensionalität gestützt (vgl. Forschungsfrage F-6 in Tab. 6-1)? Diese Frage ist nicht nur im Hinblick auf die Kompetenzmessung, sondern auch für die gezielte Förderung von *Zielkriterien* (s. Abb. 4-1) von Bedeutung.

Hierbei stellte sich die Aufgabe, das Konstrukt nicht nur differenziert zu operationalisieren und ggf. Unterdimensionen zu identifizieren (vgl. Klieme & Hartig, 2008), sondern auch als Konstrukt zu validieren, in dem es von anderen experimentellen Kompetenzen oder Personenvariablen abgegrenzt werden kann (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 201 f.), wie z. B. dem Domänenwissen oder der Fachnote. Überlegungen hierzu finden sich u. a. in Rösch (2015) und in den Abschnitten 5.2 und 7.7.4.

6.3.2 Auswahl der Stichprobe

Die in Rösch (2015), Rösch et al. (2015) und Rösch et al. (2012) vorgestellte Interventionsstudie wurde vor dem in den Abschnitten 4.5 und 4.13.3 angesprochenen Hintergrund bewusst in der Realschule durchgeführt, deren Schüler statistisch gesehen ein mittleres Leistungsniveau aufweisen (vgl. Forschungsfragen F-2, F-3 in Tab. 6-1; s. Abschnitt 4.5; vgl. auch Baumert, Lehmann et al., 1997, S. 25, 137 ff.; Baumert et al., 2001, S. 241; Hammann & Prenzel, 2008, S. 72; Klieme et al., 2010, S. 189; Prenzel et al., 2007a, S. 17). Hierbei handelt es sich verglichen mit Studien aus dem Gymnasialbereich vermutlich eher um eine Zielgruppe mit höherer externer Validität, was Aussagen über die Förderbarkeit in der Kohorte betrifft, weil es sich schließlich nicht nur um relativ leistungsstarke Probanden handelt. Ursprünglich wurde intendiert, eine umfangreichere Stichprobe einzubeziehen und dabei alle damaligen Regelschularten in Baden-Württemberg (Gymnasium, Realschule und Hauptschule) zu berücksichtigen, um ggf. Aptitude-Treatment-Effekte analysieren zu können. Dies war organisatorisch und aufgrund begrenzter Ressourcen nicht umsetzbar⁹⁷.

Die Gründe für die Wahl der Kohorte sind ausführlich in den Einzelbeiträgen (s. Roesch et al., 2015, S. 586; Rösch et al., 2012, S. 189) dargelegt. Zu Beginn war geplant, die Studien in der 8. Klassenstufe durchzuführen: Hier wären kognitive Entwicklung und Domänenwissen der Probanden besser ausgeprägt, wodurch man diese potenziellen Einflussfaktoren (vgl. Abschnitt 4.7.1.1) auf die Wirksamkeit des Treatments hätte eher ausschließen können.

⁹⁷ Aufgrund komplexer Kooperationen und Interdependenzen mit anderen Forschungsprojekten (Bräutigam, 2014; Schwab, 2014; Vogel, Rieß & Nerb, 2011) und damit verbundenem hohen Aufwand sowie aufgrund schwieriger Bedingungen für die Akquise von teilnehmenden Klassen konnte das Ziel leider nicht erreicht werden, verschiedene Schularten für einen Vergleich zu berücksichtigen.

6.3.3 Methodik der Interventionsstudie

Die Durchführung der diversen Studien im Rahmen des Projekt-Verbunds aus dem e*MNU-Teilprojekt des Verfassers und drei SYSDENA⁹⁸-Teilprojekten (Bräutigam, 2014; Schwab, 2014; Vogel et al., 2011) gestaltete sich hochkomplex. Bereits hieraus resultierte – neben der Optimierung des eigenen Projekts – die Notwendigkeit für eine *Pilotstudie*, die im Jahr 2009 mit 6. Realschul- und Hauptschulklassen bereits unter Einbezug des Naturschutzzentrums *Ruhestein* im Hochschwarzwald durchgeführt wurde. Die Hauptstudien der Promovenden (Bräutigam, Schwab, Vogel und Rösch) fanden 2010 statt. Im Folgenden werden einzelne Aspekte der Durchführung näher betrachtet, auf die innerhalb der Einzelbeiträge nicht so ausführlich eingegangen werden konnte.

6.3.3.1 Design

Abbildung 6-1 illustriert das Design dieser Teilstudie: Zur Beantwortung der Forschungsfragen (vgl. Tab. 6-1) wurde eine quasiexperimentelle 5-Gruppen-Interventionsstudie unter ökologisch validen Bedingungen (s. von Aufschnaiter, 2014, S. 82 f., 85 f., Rost, 2007, S. 114) im Klassenverband von 6. Realschulklassen (Hauptstudie 2010) unter Einbezug des Naturschutzzentrums *Ruhestein* (Hochschwarzwald) als außerschulischem Lernort bei zwei Lerngängen in zwei Treatmentgruppen (EXP⁹⁹ und SYS¹⁰⁰) durchgeführt. Wenn realisierbar wurden bei der Anwerbung Schulen mit möglichst vielen Parallelklassen vorgezogen – jene wurden per Zufall den verschiedenen Experimentalbedingungen zugewiesen. Der Feldstudie lag ein Design mit einfacher Messwiederholung zugrunde. Eine *Follow-up*-Erhebung wäre hinsichtlich Fragestellungen in Zusammenhang mit der Behaltensleistung bzw. längerfristiger Performanzentwicklung wünschenswert gewesen. Sie war jedoch weder den Versuchspersonen noch den beteiligten Lehrkräften zuzumuten (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 41).

6.3.3.2 Messinstrumente und -verfahren sowie Datenerhebungen

Um die Wirksamkeit der verschiedenen Treatments evaluieren zu können, mussten neben den Treatment-Förderkonzepten EXP (Rösch, 2010 a, b) und SYS (Vogel, 2010) zielgruppenadäquate und ökonomisch zu bearbeitende bzw. auszuwertende Instrumente bzw. Verfahren entwickelt werden (Bräutigam, Schwab, Vogel, Rösch), welche die Messung der Performanz interessierender Kompetenzen bzw. Einstellungen ermöglichten.

⁹⁸ s. Vorwort

⁹⁹ EXP: Treatment zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit

¹⁰⁰ SYS: Treatment zur Förderung systemischen Denkens

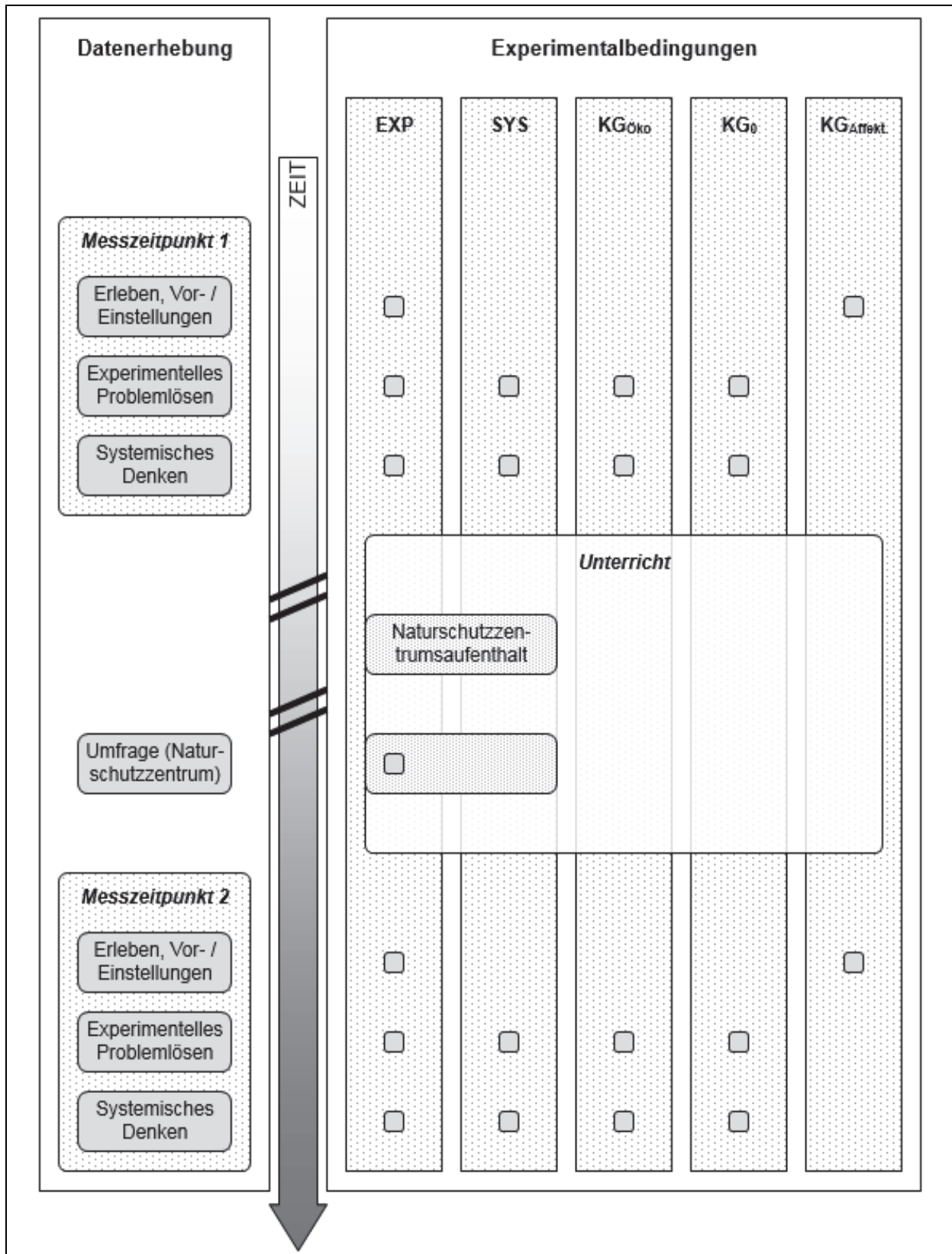


Abb. 6-1. Ablauf und Verortung von Datenerhebungen in den Experimentalgruppen

Anmerkungen. EXP: Treatment zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit. SYS: Treatment zur Förderung systemischen Denkens. KG_{Öko}: Kontrollgruppe mit Unterricht in der Domäne Waldökologie. KG₀: Kontrollgruppe zu anderen naturwissenschaftlichen Themen. KG_{Affekt} = KG_{Aut.}: Kontrollgruppe ohne inhaltliche Vorgaben. Graue Kästchen in der linken Spalte: Messinstrumente zu bestimmten Kompetenzkonstrukten bzw. weiteren Variablen. Schräge Doppelstriche: Diskontinuität in der Zeitskala. Kleines graues Kästchen: Datenerhebung erfolgt.

Vorbereitend führte der Verfasser ab Winter 2008/2009 in mehreren Durchgängen bis Februar 2010 *Erprobungsstudien* für Testinstrumente des eigenen Forschungsprojektes mit anschließender Item- und Skalenanalyse sowie Optimierung und Bildung von messstatistisch akzeptablen Itembatterien in Subskalen durch (vgl. Bühner, 2011, Kap. 3 und 5).

Außer dem *paper-and-pencil*-Test zur Erfassung experimenteller Kompetenzen (s. Abschnitt 9.2.3.2) bearbeiteten sämtliche Probanden der Experimentalbedingungen EXP, SYS, KG_{Öko} und KG₀ das Instrument zur Erfassung von Kompetenzen systemischen Denkens (s. Bräutigam, 2014). Manche Versuchspersonen wurden darüber hinaus von Vogel (vgl. Vogel et al., 2011) mittels halbstrukturierter *Interviews* und einer *Concept mapping*-Task hinsichtlich des systemischen Denkens untersucht. Des Weiteren erfolgten *Beobachtungen* und *Interviews* in der Treatmentgruppe SYS durch Schwab (2014)¹⁰¹. Probanden der Experimentalbedingung EXP und Versuchspersonen der Bedingung KG_{Affekt}¹⁰² bearbeiteten zudem zweimal einen *Fragebogen*. Angesichts dieser Test- und Beobachtungsbelastung galt es, die schriftlichen Tests möglichst knapp zu halten, was sich folglich auch auf die interne Konsistenz der kurzen Item-skalen¹⁰³ und auf Stichprobeneffekte im Vergleich zwischen Erprobungsstudien und Hauptprobe auswirkte.

Daten wurden sowohl in *Pretests* und ca. zwei Wochen nach Ende des Treatments in *Posttests* sowie einmalig während des *zweiten Aufenthalts* der EXP-Treatment-Lerngruppen am *Naturschutzzentrum* („Umfrage Naturschutzzentrum“) erhoben (s. Abb. 6-1).

In der vorliegenden Arbeit werden im Anhang (s. Abschnitte 9.2.3.2 und 9.2.3.4) lediglich diejenigen Messinstrumente (bzw. deren Teile) wiedergegeben, auf deren Basis Daten erhoben wurden, die in den fünf Einzelbeiträgen in Form konkreter Werte berichtet werden.

6.3.3.3 Parallelisierung der Treatments

Wie in Abbildung 6-1 ersichtlich, umfasste das Design der Interventionsstudie im e²MNU-SYSDENA-Projekt-Verbund insgesamt fünf Experimentalbedingungen. Drei davon (EXP, SYS und KG₀) waren im Hinblick auf die untersuchten Forschungsfragen (vgl. Tab. 6-1, Abschnitte

¹⁰¹ Der Verfasser befragte darüber hinaus in der Pilotstudie einige Probanden aus der Treatmentgruppe EXP in einem halbstrukturierten Interview, um qualitative Daten zum emotionalen Erleben der zunehmenden Offenheit im Treatment EXP zu erhalten (s. Rösch, 2009).

¹⁰² KG_{Affekt}: Kontrollgruppe für den Vergleich des Autonomieerlebens (daher zuweilen synonym als KG_{Aut.} bezeichnet) und der Freude am Fächerverbund NWA sowie weiterer Variablen, über die in den ausgewählten Einzelbeiträgen allerdings nicht berichtet wurde.

¹⁰³ der Subtest „Experiment planen“ umfasst sogar nur ein Item (vgl. Abschnitte 9.2.3.2 und 9.2.3.3)

6.1.7, 6.3.1.1, 6.3.1.2 und 6.3.1.3) *inhaltlich parallelisiert* und behandelten ausgewählte curricular valide Ökologie-Themen des Bildungsplans für Realschulen in Baden-Württemberg (MKJS, 2004): Im Hinblick auf den Kompetenzbereich *Fachwissen* wurden auf diese Weise Inhalte gewählt, die im Bildungsplan für den Fächerverbund „Naturwissenschaftliches Arbeiten“ verankert sind (vgl. MKJS, 2004, S. 101):

- „Wechselbeziehungen in der Natur [...]“;
- zyklische Prozesse in einem System [...]“;
- Prinzip der Nachhaltigkeit in der Natur [...]“;
- typische tierische und pflanzliche Organismen der Lebensgemeinschaft [...]“;
- Angepasstheit an ihren Lebensraum [...]“;
- wechselseitige Abhängigkeiten von Arten [...]“;
- das Ökosystem beeinflussende abiotische Faktoren [...]“;
- Stoffabbau [...]“;
- Stoffkreislauf [...]“;
- Problematik menschlicher Eingriffe in ein Ökosystem [...], Alternativen [...]“.

Die *inhaltsbezogenen Bildungsstandards* des baden-württembergischen Bildungsplans von 2004 beziehen sich recht allgemein auf die Domäne *Ökologie*. Im Hinblick auf den exemplarischen Lerngegenstand *Waldökologie* mussten diese folglich noch präzisiert und auf konkrete Beispiele bezogen werden, was dieser Bildungsplan auch vorsieht.

Themen, die in den *drei parallelisierten Experimentalbedingungen* im Treatment berücksichtigt wurden, sind in Abbildung 6-2 festgehalten. Im mittleren Sektor ist der Kern der inhaltlichen Parallelisierung zu sehen, also die inhaltlichen Überschneidungen dieser drei Gruppen. Angesichts treatmentsspezifischer Anforderungen mussten in den Unterrichtsbausteinen der Treatments EXP und SYS jeweils weitere spezifische inhaltliche oder methodenbezogene Themen aufgenommen werden. Die gesamte *time on task* wurde gleichwohl identisch gestaltet.

In Anbetracht dessen ist die Parallelisierung als bestmöglicher Kompromiss und somit als eine pragmatische Lösung zu bezeichnen. Eine vollkommene inhaltliche Überschneidung der parallelisierten Treatments war angesichts der unterschiedlichen Eignung bestimmter Themen für die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit oder aber systemisches Denken nicht realisierbar. Anhand von Unterrichtsprotokollen mussten die beteiligten Fachlehrkräfte der teilnehmenden Lerngruppen dokumentieren, ob sie alle vorgesehenen Themen (und ausschließlich diese) im Unterricht bearbeitet hatten und welche Zeit sie dafür benötigten, was der Kontrolle dieser unabhängigen Variablen im Quasiexperiment dienen sollte.

Spezifische Inhalte EXP	Gemeinsame Domäneninhalte EXP – KG _{Öko} – SYS	Spezifische Inhalte SYS
<ul style="list-style-type: none"> • Bodenverdichtung – Wasserversickerung • Schutzwirkungen des Waldes • Schadstoffeintrag – Samenkeimung / Pflanzenwachstum • Experimentelle Strategien und Gütekriterien 	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionen von Wäldern • Flächennutzungskonflikt • Dimensionen nachhaltiger Entwicklung • Auervild (Wechselwirkungen Organismus – Umwelt) • Abiotische und biotische Umweltfaktoren • Stockwerkbau des Waldes • Nahrungsketten • Stoffkreislauf • Borkenkäfer (Forstschädling, Reproduktion, Bekämpfung, natürliche Fressfeinde) • Totholz und Laubstreu, Zersetzer (z. B. Assel) • Folgen anthropogener Eingriffe 	<ul style="list-style-type: none"> • Nahrungsnetze • Schwarzspecht • Wildverbiss – Forstschäden • Nachhaltige Forstwirtschaft • Systembegriff • Heurismen systemischen Denkens

Abb. 6-2. Inhaltliche Parallelisierung und Spezifika der Ökologie-Experimentalbedingungen

Anmerkungen. EXP: Treatment zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit. KG_{Öko}: Kontrollgruppe mit Unterricht in der Domäne *Waldökologie*. SYS: Treatment zur Förderung systemischen Denkens.

In gewisser Weise wurden die Treatments der Experimentalgruppen EXP, SYS und KG_{Öko} auch *didaktisch-strukturell parallelisiert*: Alle Treatments setzen kumulatives Lernen um (vgl. Spörhase, 2012 b, S. 49 ff.): Die jeweiligen Lernumgebungen beziehen wo immer möglich sowohl vertikalen als auch horizontalen Transfer bewusst mit ein (vgl. Meyer, 2007, S. 202 f.).

Die Treatments EXP und SYS zeichnen sich darüber hinaus dadurch aus, dass die Unterrichtskonzepte *drei Hauptphasen* vorsehen, die von zwei je eintägigen Lerngängen zum Naturschutzzentrum *Ruhestein* (Hochschwarzwald) flankiert wurden, die zusätzliche *time on task* umfassten. Den strukturgleichen dreigliedrigen Aufbau zeigen die Abbildungen 6-3 und 6-4:

- In den Anfangsstunden erarbeiten die Lernenden in stark angeleiteten Lernsettings die Basis des *ökologischen Domänenwissens*, das sowohl für experimentelles Problemlösen als auch für systemisches Denken eine notwendige Voraussetzung darstellt (vgl. Abschnitte 3.3.2.2 und 4.7.1.2).
- In der zweiten Phase stehen *epistemologische Prinzipien* und *grundlegende Begriffe und Strategien* des jeweiligen Kompetenzbündels – experimenteller Problemlösefähigkeit oder systemischen Denkens – im Mittelpunkt.

- In der dritten Phase folgen *anspruchsvollere Lernaktivitäten* bzw. *Kompetenzen* des jeweiligen Konstrukts. Während beide Treatments 13 Unterrichtsstunden à 45 min umfassen, variiert die Zahl der Unterrichtsstunden pro Phase geringfügig.

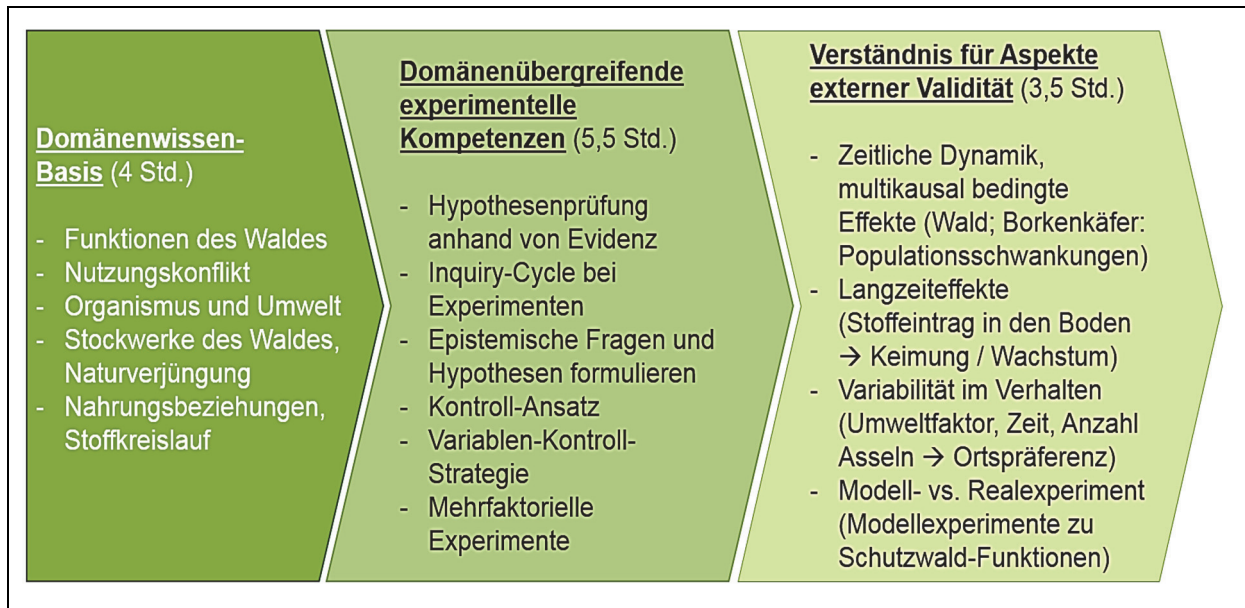


Abb. 6-3. Phasenschema I: Struktur und Komponenten des Treatments EXP

Anmerkung. EXP: Treatment zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit. Std.: Unterrichtsstunden. Der erste Aufenthalt am Naturschutzzentrum erfolgte nach dem Ende der Domänenwissen-Basis-Phase, der zweite umfasste das Lernmodul „Modell- vs. Realexperiment“, an das sich eine das im Treatment Gelernte zusammenfassende Stunde anschloss. Im Flussschema ist diese zeitlich jedoch in der mittleren Phase eingerechnet; weil sie Lerninhalte der zweiten und dritten Phase beinhaltet, lässt sie sich im Schema, das mit Abbildung 6.4 vergleichbar sein soll, schlecht visualisieren. Zum besseren Nachvollzug sei auf Tabelle 6-2 verwiesen.

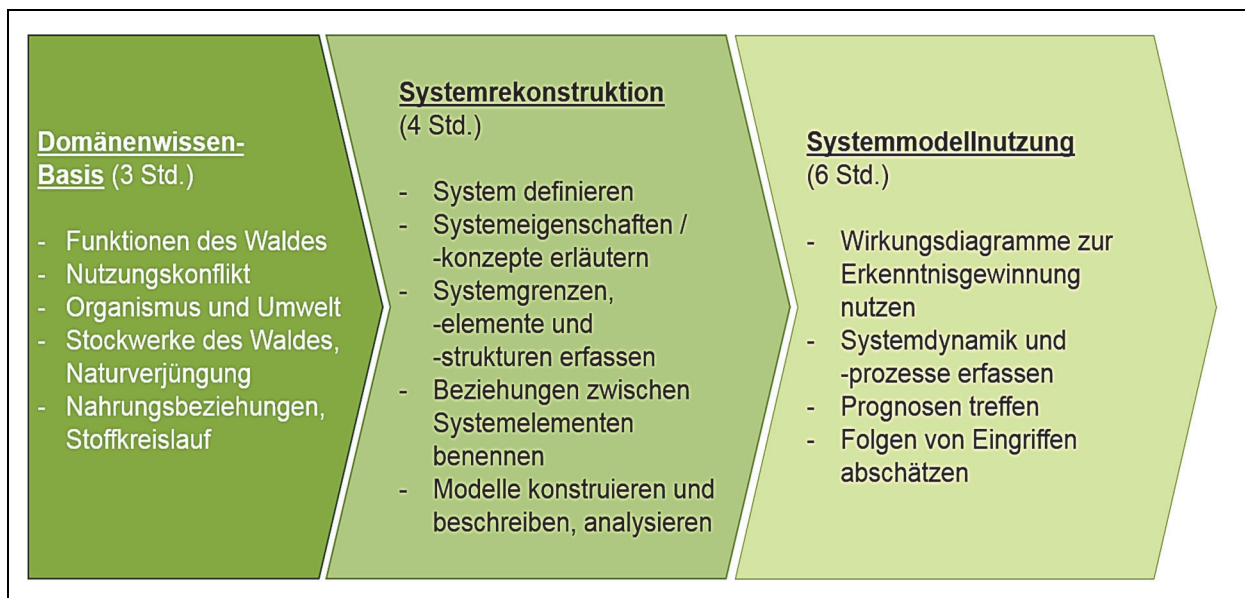


Abb. 6-4. Phasenschema II: Struktur und Komponenten des Treatments SYS

Anmerkungen. SYS: Treatment zur Förderung systemischen Denkens. Std.: Unterrichtsstunden. Der erste Aufenthalt am Naturschutzzentrum erfolgte nach dem Lernmodul „Funktionen des Waldes“, der zweite am Ende des Treatments. In beiden Treatments ermöglichten die Aufenthalte am Naturschutzzentrum eine Anwendung, Vertiefung und Erweiterung zuvor erworbener bzw. geschulter Kompetenzen (vgl. Tab. 6-2).

Nach diesem noch recht allgemeinen Überblick über die zentralen Treatments EXP und SYS sollen nun Feinheiten des Unterrichtskonzepts EXP zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit herausgearbeitet werden. Was Details zum Treatment SYS betrifft, sei auf Informationen bei Bräutigam (2014), Schwab (2014), Vogel (2010) und Vogel et al. (2011) verwiesen.

6.3.3.4 Inhaltliche und didaktisch-methodische Gestaltung des Treatments EXP (Überblick)

Den Überlegungen zu Dimensionen des Kompetenzbereiches Erkenntnisgewinnung von Mayer (2007) sowie von Mayer und Ziemek (2006) folgend (vgl. Abschnitt 3.3.2) und im Hinblick auf das dieser Arbeit zugrunde liegende *Modell experimenteller Problemlösefähigkeit* (s. Abb. 3-2 in Abschnitt 3.3.3), gilt es, bei der Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit nicht ausschließlich technisch-manuelle Fertigkeiten zu schulen. Im Rahmen Forschenden Lernens wurden daher auch im Experimentieren inkludierte *fachgemäße Denk- und Arbeitsweisen* und wissenschaftliches Denken einbezogen, wie es der Bildungsplan innerhalb des Kompetenzbereiches *Erkenntnisgewinnung* in Form prozessbezogener Bildungsstandards vorsieht (vgl. MKJS, 2004, S. 97):

- „Fragen an die Natur [...] stellen [...] und Antworten durch Primär- oder Sekundärerfahrungen [...] finden [...];
- sammeln und ordnen [...];
- Besonderheiten finden;
- Gesetzmäßigkeiten vermuten;
- Hypothesen bilden [...];
- Prognosen wagen. [...]
- Versuche planen;
- Versuche durchführen [...];
- Daten erheben durch Messen, Beobachten, Beschreiben, Vergleichen [...];
- Ergebnisse dokumentieren und systematisieren [...].
- [...] auswerten unter Verwendung von [...] Diagrammen, Tabellen [...];
- [...] Zusammenhänge formulieren;
- Ergebnisse reflektieren und diskutieren [...];
- analysieren und aus Fehlern lernen;
- [...] Modellversuche und Simulationen planen und durchdenken;
- auf Modellebene denken und eigene Modelle entwickeln;
- mit Modellen [...] Phänomene beschreiben, dem Verstehen zugänglich machen und in einen Kontext einordnen;

- [...] Ergebnisse reflektieren, diskutieren und bewerten [...].“
- „[...] experimentieren [...];
- ausgewählte Tierarten beobachten und beschreiben, ihre Angepasstheit an das Leben an Land [...] in Körperbau, Funktion und artspezifischem Verhalten erfassen und erklären“;
- weitgehend selbstständig ein Alltagsproblem so einkreisen, dass es mit Messmethoden und Messinstrumenten quantifizierbar wird [...]
- Kausalitäten erkennen und [...] beschreiben und interpretieren [...];
- [...] selbstständig mit Messgeräten an einfachen Phänomenen quantifizieren [...];
- grundlegende Größen versuchstechnisch erfassen und [...] darstellen;
- Beziehungen zwischen zwei messbaren Größen experimentell herstellen“ (ebd., S. 98).

Diese Auswahl ermöglichte, das hypothetisch-deduktive Verfahren einzuführen und in vielfältigen Kontexten für situiertes Lernen fruchtbar zu machen. Darüber hinaus wurden Aspekte des Wissenschafts- bzw. *Nature of Science*-Verständnisses miteinbezogen.

Gemäß Mayer und Ziemek (2006; vgl. Abschnitte 4.9.4 und 4.9.9) stellt überdies *kooperatives Lernen und Arbeiten* ein Hauptcharakteristikum Forschenden Lernens dar. Bildungsplan-konform wurde das Treatment entsprechende methodisch gestaltet, wobei die Interaktion und der Austausch in Partner- bzw. Gruppenarbeit und im Plenum die Plattform bildeten, um auch die Kompetenzbereiche *Kommunikation* und *Bewertung* besser miteinbeziehen zu können (vgl. Abschnitt 4.9.6.4): Die Lernenden sollten dabei ...

- „[...] in der Teamarbeit Kooperations- und Kommunikationsformen für zielgerichtetes Arbeiten erwerben;
- Experimente, Erkenntnisse und Fakten in angemessener Fachsprache präsentieren und auf Rückfragen antworten“ (MKJS, 2004, S. 97).

Im Folgenden wird überblickartig aufgezeigt, wie inhaltliche und prozessbezogene Kompetenzen im Treatment EXP einander zugeordnet wurden (s. Tab. 6-2). Eine ausführlichere Darstellung findet sich als Fließtext in Abschnitt 9.2.2. Sämtliche Details, die Verlaufsskizzen und Materialien sind in Rösch (2010 a, b) enthalten. Wie in den Anmerkungen zu Abbildung 6-3 angesprochen geben die Informationen in Tabelle 6-2 die chronologisch korrekte Sequenz wieder.

Tab. 6-2. Ablauf, Lernmodule, Inhalte und experimentelle Kompetenzen (Treatment EXP)

Lernmodul		Schwerpunkte* des Forschenden Lernens	
Nr.	Titel	Fachwissen ^x	Experimentelle (Teil-)Kompetenzen
<i>Erste Phase: Domänenwissen-Basis in (Wald-)Ökologie</i>			
1	„Eine schwierige Entscheidung?!“	Flächennutzungskonflikt, Waldfunktionen	Argumente anhand empirischer Evidenz begründen
2	„Lebewesen und ihre Umwelt“	Umweltansprüche und Ökologie des Auerwilds, Ökologie als Disziplin, Folgen anthropogener Veränderungen von Habitaten	Beobachten und Beobachtungen (Video) zur Beantwortung von Fragen auswerten
3	„Stockwerke des Waldes“	Strukturierung von Wäldern, Vertikalzonierung der Vegetation, tierische und pflanzliche Vertreter der Schichten, Unterschiede bzgl. abiotischer Faktoren, Umweltgradienten, Struktureichtum und Biodiversität, Zielsetzungen im Naturschutz	Kriteriengeleitet vergleichen und Beschreibungen zur Informationsgewinnung passenden Abbildungen zuordnen
4	„Nährstoffe im Recycling-Kreislauf“	Nahrungsketten, Trophieebenen, Fotosynthese, Stoffkreislauf	Informationen aus Forschungsberichten entnehmen
<i>Zweite Phase: domänenübergreifende experimentelle Kompetenzen</i>			
NaZ-I	„Lebensraum und Lebensgemeinschaft Wald“	Biotop Wald, vertikale Zonierung, Lebensraum Laubstreu / Totholz, edaphische Destruenten und anatomische Anpassungen, Umweltgradienten, Mikroklimata in Waldbereichen	Prinzipien des hypothetico-deduktiven Verfahrens und Schritte experimenteller Problemlösung in eine Reihenfolge bringen und anwenden, Hypothesen (begründete Vermutungen) generieren, Ausprägung abiotischer Faktoren mit Geräten messen, quantitative chemische Nachweismethoden bzw. Messverfahren anwenden, Organismen bestimmen und mit technischen Hilfsgeschäften untersuchen, Ergebnisse dokumentieren, Protokolle anfertigen

5	„Käfer-Alarm!“	Borkenkäfer (Biologie, Schädling, Bekämpfung, natürliche Feinde)	Datentabellen und Diagramme beschreibend auswerten, Diagramme erstellen, Hypothesen mit deren Hilfe überprüfen bzw. angesichts nicht erwartungskonformer Evidenz revidieren, Hypothesen zu Störgrößen generieren
6	„Experimentieren: Keine Zauberei“	Auftrieb bei Rosinen in Kohlesäurehaltigem Wasser	Verständnis zum Zweck (hier: Prüfung von Kausalhypothesen) und zu Strategien von Experimenten aufbauen, Variablentypen unterscheiden (unabhängige Variable[n]: „[mögliche] Ursache[n]“ und abhängige Variable[n]: „Wirkung[en]“), einfaktorielles Experiment mit Kontroll-Ansatz und Variablenkontrolle planen, Beobachtungen und Messungen zwischen Ansätzen vergleichen und Kausalzusammenhang ableiten; „ZuKAKo-Regel“ (s. Abschnitt 6.3.3.5)
7	„Die beste Frage gewinnt (am meisten Wissen)!“	Auftrieb bei Rosinen in Kohlesäurehaltigem Wasser, Auflösungsgeschwindigkeit von Brausetabletten	Gute epistemische Fragen identifizieren und mithilfe von Fragestämmen selbst formulieren (auch Übung dazu) und Hypothesen generieren, Protokoll erstellen, einfaktorielles Experiment planen, durchführen, Daten erheben, Evidenz hypothesenbezogen auswerten
<i>Dritte Phase: Besonderheiten bei Experimenten mit Organismen und in lebenden Systemen sowie Weiterführung der zweiten Phase</i>			
8	„Kurze Ursache – lange Wirkung?!“	Einflüsse auf Samenkeimung und Pflanzenwachstum durch Stoffeintrag (Schadstoffe, Regenwurm-Kot), Langzeiteffekte in Ökosystemen	Langzeit-Experimente (Durchführung und Protokollierung von Messwiederholungen) und Pflege von Organismen planen, Daten erheben, auswerten und veranschaulichen, Bewusstsein für Langzeiteffekte in Ökosystemen aufbauen
9	„Asseln: Wählerische Bodenlebewesen!“	Biologie der Assel, Bedeutung für den Stoffkreislauf, Anpasstheit an abiotische Umweltfaktoren, physiologische Toleranz, Habitat-Selektion (Präferenz-Verhalten), Folgen der Veränderung von Biotopen auf das Verhalten von tierischen Bewohnern, sachgerechter Umgang mit Tieren	Hypothesen zu vorgegebenem Aufbau generieren, Besonderheiten verhaltensbiologischer Experimente (Bedeutung von Stichprobenumfang, Beobachtungsdauer, Messwiederholung, Einschränkung der Aussagekraft und der Vorhersagbarkeit des Verhaltens) anhand eigener Beobachtungen und expliziter Reflexion verstehen und erklären, verhaltensbiologisches Experiment planen, durchführen, protokollieren und auswerten und dabei vorgegebenes Design abändern und übertragen (reorganisieren)
10	„Experimente für Profis (I)“	Anthropogen bedingte Bodenverdichtung, Bodenarten, Versickerungsgeschwindigkeit von Niederschlagswasser und oberflächlicher	Vorgegebene zweifaktorielle Experimente bzgl. interner Validität analysieren und selbst aussagekräftige Experimente planen

		Abfluss, Tätigkeit und ökologische Bedeutung von Regenwürmern	
11	„Experimente für Profis (II)“	Habitatselektion bei Asseln und Regenwürmern, Samenkeimung, Pflanzenwachstum in Abhängigkeit von Umweltfaktoren	Vorgegebene ‚zusammengehörende‘ Ansätze analysieren und beurteilen, zum Vergleich geeignete Ansätze ergänzen bzw. komplett planen, zwei- (bzw. drei)faktorielle Experimente planen, vorgegebene Interpretation von Evidenz beurteilen, epistemische Fragen formulieren
12	„Mit Ergebnissen muss man kritisch umgehen!“	Schadstoffe und Wirkungen auf Keimung und Wachstum von Pflanzen	Daten durch Beobachtung und Messungen erheben und dokumentieren, in Grafiken darstellen, Befunde aus Langzeit-Experimenten interpretieren und vergleichen, über Langzeiteffekte reflektieren, Ideen zu weiterführenden Experimenten formulieren, erklären und begründen, über Störgrößen in der natürlichen Umgebung reflektieren, Vor- und Nachteile von Labor- und Feldexperimenten hinsichtlich deren Aussagekraft anhand von Concept Cartoons beurteilen, Wissen um Besonderheiten bei Experimenten mit Organismen anwenden (Argumente finden, Designs beurteilen)
NaZ-II	„Wald schützt?!“	Schutzwirkungen von Wäldern	Modell-Experimente planen, durchführen, protokollieren, auswerten, interne und externe Validität beurteilen, hinsichtlich der Übertragbarkeit ins interessierende Realsystem reflektieren und begründen, Vorgehen und Befunde auf Postern veranschaulichen und präsentieren, Qualität der Vorgehensweise der eigenen und anderen Gruppen analysieren, Verbesserungsmöglichkeiten für Modellierung und experimentelle Designs beschreiben und begründen
13	„Gute Beratung – gute Entscheidung!“	Insektizid-Einsatz gegen Forstschädlinge, abiotische Umweltfaktoren und Samenkeimung bzw. Pflanzenwachstum, mechanische Bekämpfung von Borkenkäfern im Forst, Flächennutzungskonflikt, Dimensionen Nachhaltiger Entwicklung	Güte und Grenzen vorgegebener Experimente analysieren, Positiva und Negativa hinsichtlich Design und Interpretation analysieren, beschreiben, begründen und ggf. begründet korrigieren

Anmerkungen. NaZ: Naturschutzzentrum *Ruhestein*. Nr.: Nummer, Ordnungszahl des Lernmoduls. *: daneben spielten in den Lernmodulen weitere Kompetenzen aus den Kompetenzbereichen Bewertung und Kommunikation sowie z. T. affektive Ziele eine Rolle, die hinsichtlich einer besseren Übersichtlichkeit hier jedoch nicht aufgeführt werden. x: manche Fachtermini in dieser Tabelle wurden im Unterricht adressatengerecht umschrieben bzw. mit einfacheren Begriffen bezeichnet. NaZ-I: erster Aufenthalt am Naturschutzzentrum *Ruhestein*. NaZ-II: zweiter Aufenthalt am Naturschutzzentrum *Ruhestein*.

Aufgrund begrenzter Ressourcen und in Anbetracht des engen Zeitfensters, in dem sämtliche an den Projekt-Verbund-Studien (s. Abschnitt 6.3.3.1) teilnehmende Lerngruppen der Treatments EXP und SYS das Naturschutzzentrum *Ruhestein* je zweimal aufsuchen mussten, war es nicht möglich, eine größtmögliche *Durchführungsobjektivität* zu gewährleisten: Im Idealfall hätte einerseits ein und dieselbe Lehrperson den Treatmentunterricht in allen Experimentalgruppen der Studien durchführen sollen. Auf diese Weise hätte die ‚Störgröße‘ *Lehrperson* ‚kontrolliert‘ werden können. Auf der anderen Seite hätte eine fremde Lehrperson die ökologische Validität der Interventionsstudien reduziert. Gleichwohl galt es, die Durchführung des jeweiligen Treatments innerhalb der Experimentalbedingungen so einheitlich und kontrolliert wie möglich zu gestalten.

Dazu wurden die teilnehmenden Lehrkräfte zum einen in einer *Fortbildung* auf das Treatment intensiv fachdidaktisch, methodisch und inhaltlich vorbereitet. Auftretende Fragen wurden im Plenum geklärt. Die Intervention wurde entsprechend der in einer *Lehrerhandreichung* (Manual) vorgegebenen Hinweise durchgeführt (Rösch, 2010 b).

Tab. 6-3. *Gliederung der Informationen zu Lernmodulen in den Handreichungen*

Nr.	Gliederungspunkt	Beschreibung
*	Titel des Lernmoduls	
1	Ausgangslage	Beschreibung der inhaltsbezogenen und wissenschaftsmethodischen Lernvoraussetzungen (vermutete Vorerfahrungen, Vorkenntnisse und Präkonzepte unabhängig vom Treatment; Zusammenfassung der im Treatment zuvor geschaffenen Grundlagen, an die im vorliegenden Lernmodul kumulativ i. S. eines vertikalen bzw. horizontalen Transfers angeknüpft wird)
2	Kurzüberblick	Beschreibung des Ablaufs des Lernmoduls (Fließtext)
3	Kompetenzen / Ziele	Auflistung der Unterrichtsziele, kategorisiert nach den Kompetenzbereichen (KMK, 2005 a), ergänzt um affektive und Einstellungsziele
4	Vorbereitung und Material	Nennung der erforderlichen, ggf. zu organisierenden oder herzustellenden Medien (auch Kopien), Geräte, Stoffe, ... sowie Rahmenbedingungen
5	Unterrichtsskizze	Verlaufsplanung des Lernmoduls (Phasen, Dauer, geplantes Lehrerverhalten mit präzisen Angaben zu Formulierungen, erwartetes Verhalten der Lernenden, Sozialform, Medien, Anmerkungen / didaktische Reflexion, Erklärung von Abkürzungen innerhalb der Unterrichtsskizze)
6	Theoretischer Hintergrund	Sachanalyse für die Hand der Lehrkraft: Domäneninhalte und Informationen zu wissenschaftsmethodischen bzw. -theoretischen und metakognitiven Aspekten
7	Materialien / Vorlagen	z. B. Tafelbilder, Kopiervorlagen, Overhead-Folien

Gleiches galt für die Mitarbeitenden des Naturschutzzentrums *Ruhestein*: Auch sie nahmen an zwei Fortbildungen teil und wurden in die Handhabung eines entsprechend detailliert ausgearbeiteten *Manuals für die Lernmodule* am Naturschutzzentrum (Rösch, 2010 a) eingewiesen. Sämtliche Lernmodule sind in diesen Handreichungen genauestens beschrieben. Das Procedere in der Experimentalbedingung SYS war analog (s. Vogel, 2010). Auf diese Weise wurden Unterschiede in der Durchführung der Intervention hinsichtlich der suboptimalen Rahmenbedingungen der Studien bestmöglich reduziert. Wie bereits angesprochen, dokumentierten die beteiligten Lehrkräfte sämtliche Abweichungen in einem Unterrichtstagebuch. Diese fielen minimal aus und stellten daher keine nennenswerte Störgröße dar.

Die Angaben in den *EXP-Handreichungen* umfassten für jedes Lernmodul, das entweder für eine Unterrichtsstunde oder für eine -doppelstunde angelegt war, die in Tabelle 6-3 enthaltenen ausführlichen Informationen. Abbildung 6-5 zeigt den Aufbau der Informations- und Materialseiten in den Handreichungen. Diese enthielten zu Beginn eine allgemeine Einführung in den Experiment-Begriff im engen Sinn, wie er auch in der vorliegenden Arbeit verwendet wird (vgl. Lethmate, 2003 und 2006) sowie in die Prinzipien Forschenden Lernens.

Abb. 6-5. Auszug aus der EXP-Lehrerhandreichung für ein exemplarisches Lernmodul (Lernmodul 1)
 Anmerkungen. Erläuterung der Ziffern in Tabelle 6-3. Verkleinert abgebildet sind die DIN A 4-Seiten der Lehrerhandreichung.

6.3.3.5 Didaktisch-methodische Spezifika des Treatments EXP zur Erleichterung des Lernens

In Kapitel 4 wurde deutlich, wie anspruchsvoll die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit ist und wie komplex die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Einflussfaktoren und Bedingungs- bzw. Wirkungsebenen (vgl. Abschnitt 4.1 und Abb. 4-1) sind. Im Hinblick auf die *Lernvoraussetzungen der Stichprobe* (vgl. Abschnitte 4.5 und 4.7.1.1) der Interventionsstudie des Verfassers werden insofern einige didaktisch-methodische Herausforderungen deutlich. Exemplarisch seien die vier folgenden Sachverhalte genannt:

- große Bedeutung anschaulicher Lernkontexte bzw. -situationen angesichts der begrenzten Abstraktionsfähigkeit (Stand der kognitiven Entwicklung in dieser Kohorte),
- mittlere kognitive Leistungsfähigkeit (Probanden besuchten die Realschule),
- vergleichsweise große Schwierigkeiten mit der Selbstregulation (wenig Erfahrung mit eigenständigem Experimentieren),
- sehr eingeschränktes Domänenwissen zu Ökosystemen (unterste Stufe des Spiralcurriculum).

Im Folgenden wird dargelegt, wie das Treatment EXP versucht, diese Lernvoraussetzungen besonders adressatengerecht zu berücksichtigen. Die Ausführungen gliedern sich wie folgt:

- 1. Flächennutzungskonflikt in „Sonnstein“ als anschaulicher Lernkontext
- 2. Naturschutzzentrum *Ruhestein* als außerschulischer Treatment-Umweltlernort
- 3. „ZuKAKo-Regel“ und „Werkzeugkiste“ zur Unterstützung der Selbstregulation
- 4. Phänomenologische Zugänge zum abstrakten *Bewusstsein für externe Validität*.

1. Flächennutzungskonflikt in „Sonnstein“ als anschaulicher Lernkontext

„Entscheidungen spielen im Kontext von Nachhaltigkeit eine bedeutende Rolle, denn um zukunftsfähig handeln zu können, müssen Entscheidungssituationen zunächst erkannt, dann reflektiert und beurteilt werden, um anschließend unter den möglichen Optionen und deren Konsequenzen entscheiden zu können – und das unter allen Bedingungen der komplexen Situationen, in denen dies notwendig ist.“

(Schmidt, 2014, S. 167)

(Fiktive) *Nutzungskonflikte* eignen sich hervorragend, in einem authentischen, realitätsnahen *Lernkontext* multiple Perspektiven und entsprechend berechtigte konkurrierende Meinungen

i. S. problemorientierten Lernens zu thematisieren (vgl. Meisert, 2012 a, S. 233 ff.; Reinmann & Mandl, 2006, S. 640 f.). Die dabei realisierte Anschaulichkeit kommt den Lernbedürfnissen junger Heranwachsender sehr entgegen (s. Forschungsfrage F-9, Abschnitt 6.1.7, Tab. 6-1). Zudem können die Nutzungskonflikte in einen regionalen Bezug gestellt werden, was deren Relevanz für konkrete (reale oder fiktive) Personen, geographische Räume und deren Landschaften vor Augen führt (vgl. Schleiff, 2016, S. 219) und bestenfalls die Identifikation auf Seiten der Lernenden begünstigt. All dies ermöglicht den Schülerinnen und Schülern, die herausfordernde Komplexität von ganz speziellen Alltagssituationen zu erfassen, in denen Lösungen durch das Anwenden naturwissenschaftlicher Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten gefunden werden können (vgl. Schmiemann, Linsner, Wenning, Neuhaus & Sandmann, 2011, S. 8). Im Rahmen des Kontexts *Nutzungskonflikt* können Lernende auch mit der „Lösung komplexer Gestaltungsaufgaben zur Nachhaltigen Entwicklung“ (Bayrhuber, Bögeholz, Elster et al., 2007, S. 285) konfrontiert werden. Bei entsprechender Konzipierung der Lernumgebung lernen die Schüler, „unter Einbezug eigener und fremder Werte und Normen sowie auf der Basis von [ggf. experimentell gewonnenen] Sachinformationen faktisch und ethisch komplexe Entscheidungsaufgaben im Sinne des Leitbildes der Nachhaltigen Entwicklung zu lösen“ (ebd.). So erfüllt der konkrete Lernkontext vier wesentliche Auswahlkriterien für gute BNE-Kontexte (vgl. Rieß, 2010 b, S. 11; s. auch Bagoly-Simó, 2014, S. 184; Birkholz & Elster, 2016, S. 80):

- Er betrifft ein *zentrales lokales Thema*, welches „den Bedarf, die Bedingungen und Perspektiven zukünftiger Entwicklung“ (Rieß, 2010 b) vor Augen führt – in diesem Fall die Nutzung bzw. Gestaltung einer Fläche in ‚Schlüssel-Lage‘ unter speziellen naturgegebenen topographischen bzw. von touristischer Nutzung geprägten Bedingungen, woraus ökologische, ökonomische und sozioökonomische Auswirkungen resultieren.
- Der Kontext zeigt eine *längerfristige Perspektive* auf, welche die Relevanz nachhaltiger Entwicklung zu verdeutlichen vermag – hier die Entscheidung, wie mit der Fläche umgegangen wird, was sich nachhaltig auf verschiedene Dimensionen auswirken und spezifische Bedingungen für die Menschen und natürliche Systeme zu späteren Zeitpunkten schaffen wird (s. o.).
- Die authentische Problemsituation erfordert *differenzierte, interdisziplinäre Kenntnisse* – die konkreten, komplexen Umstände machen eine multiperspektivische Herangehensweise beim Entscheidungsprozess und die Nutzung der Erkenntnismethoden und Konzepte verschiedener Fächer nötig. Folglich fließen auch verschiedene Werte und Normen mit ein, welche die Nachhaltigkeitsdimensionen *Ökologie, Ökonomie, Gesellschaft* und *Politik* tangieren (vgl. Sprenger & Otto, 2014, S. 266 f.).

- Die Umstände bergen ein umfangreiches *Handlungspotenzial* und dabei unterschiedlichste Handlungsalternativen: Die Verantwortlichen in Kommunalpolitik, regionaler Administration, lokaler Wirtschaft und Naturschutzorganisationen haben diverse Handlungsoptionen und müssen diese Möglichkeiten abwägen, gemeinsam nach einem stimmigen, zukunftsfähigen Gesamtkonzept i. S. nachhaltiger Entwicklung suchen.

2. Naturschutzzentrum *Ruhestein* als außerschulischer Treatment-Umweltlernort

Neben der anschaulichen Rahmengeschichte eines Nutzungskonflikts per se kann in diesem Zusammenhang das Aufsuchen, Erkunden und Analysieren außerschulischer Umweltlernorte der „ganzheitlichen [und anschaulicher erlebbaren; vgl. Janssen, 1988, S. 5 ff.; Klaes, 2008, S. 74 ff.; Wilhelmi, 2011, S. 4, 6] Erfassung des Mensch-Natur-Beziehungsgefüges“ (Gärtner, 2001, S. 219) dienen.

„Mit dem umweltpädagogischen Kontext des ganzheitlichen Zugriffs öffnet sich das gesamte Blickfeld der Nutzungsansprüche des Menschen an die Naturressource einschließlich ihrer Ursache-Wirkungskomplexe und Folgen.“
(Gärtner, 2001, S. 227)

Zwei ganztägige Besuche am Naturschutzzentrum *Ruhestein* (heute Bestandteil des in einem Mittelgebirge gelegenen Nationalparks Schwarzwald) inklusive forschender Aktivitäten am außerschulischen Lernort „*Waldklassenzimmer*“ illustrierten die Authentizität und Dringlichkeit der thematisierten Entscheidungssituation im Nutzungskonflikt zusätzlich zu den ansonsten in Fachräumen der beteiligten Schulen eingesetzten – weniger eindrücklichen – Medien und Methoden. Wie Vogl, Mandl, Meixner und Klatt (2015, S. 186 ff.) im Rahmen von kooperativ durch Lehrkräfte und Förster entwickelte Unterrichtseinheiten beobachteten, die den außerschulischen Lernort *Wald* mit schulischem Lernen verzahnten, wirken sich entsprechende Lernumgebungen auf alle Beteiligten sehr positiv aus: Wird der außerschulische Umweltlernort systematisch vor- und nachbereitet, und berücksichtigt das Lernen vor Ort Prinzipien guten, schüler- und kompetenzorientierten sowie erfahrungs- und reflexionsbasierten Naturwissenschaftsunterrichts (vgl. Köhler, 2012 a; Killermann, Hiering & Starosta, 2008, S. 199 ff., 285; Meyer, 2007, S. 160 f.; Ruppert, 2012, S. 106 ff.; Sauerborn & Brühne, 2012, S. 83), so kann sich dies positiv auf Motivation, Verständnis und somit den gesamten Lernprozess auswirken (vgl. Berck & Graf, 2010, S. 147; Deci & Ryan, 2010; Starosta, 1991). Das Naturschutzzentrum *Ruhestein* eignet sich dank seiner, dem fiktiven „Sonnstein“ vergleichbaren, Lage und angesichts zahlreicher Erfahrungs- und Nutzungsmöglichkeiten im nahegelegenen „Waldklassen-

zimmer“ sowie im Tagungs- bzw. Arbeits- und Außenbereich des Anbaus hervorragend als ein solcher außerschulischer Umweltlernort.

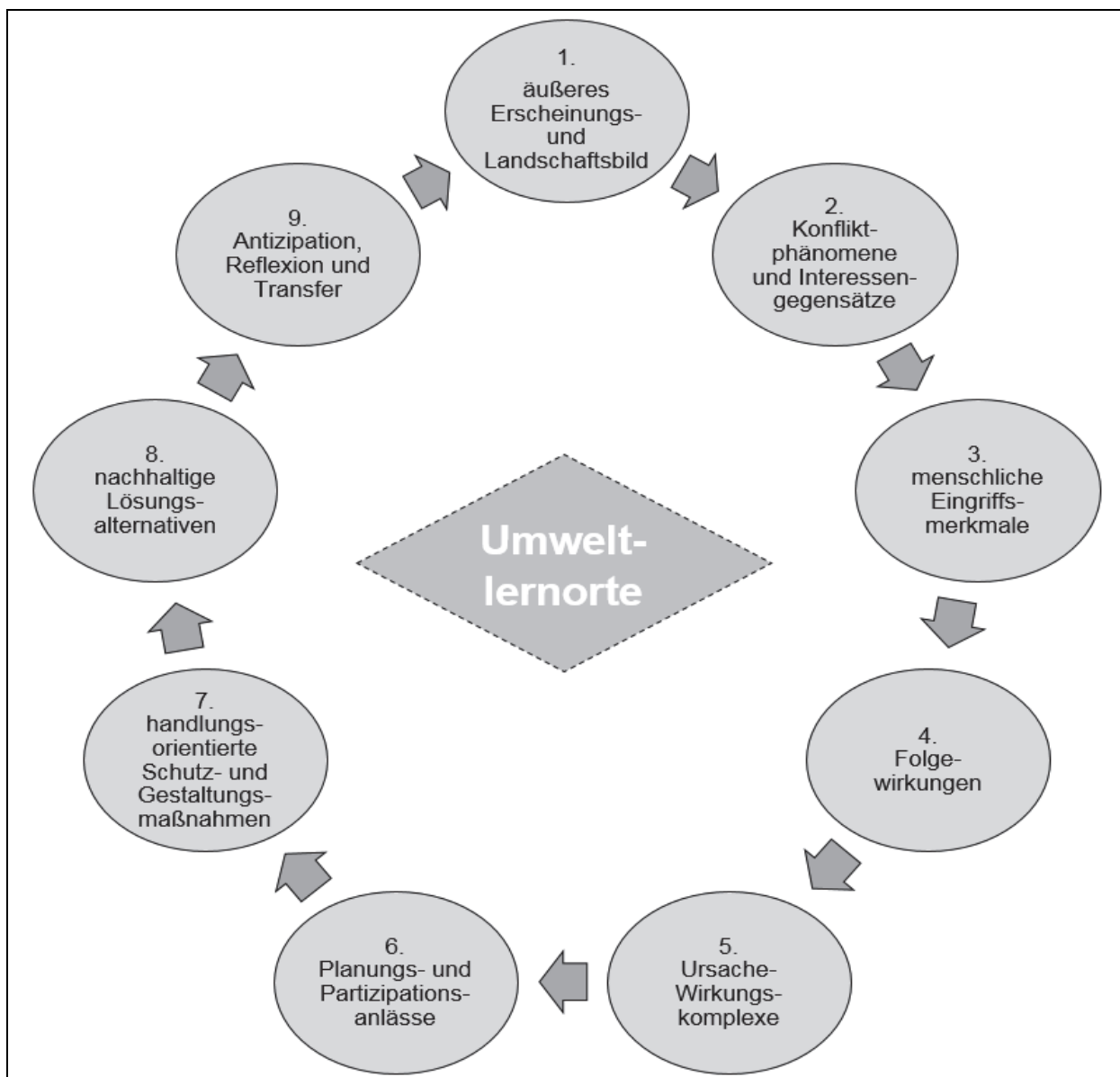


Abb. 6-6. Konstitutive Merkmale von Umweltlernorten

Anhand von Abbildung 6-6 (nach Gärtner, 2001, S. 223) wird deutlich, dass es sich bei einer solch umfassenden Einbeziehung außerschulischer Lernorte im Zusammenhang mit Nutzungskonflikten in Mensch-Umwelt-Systemen anbietet, naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen i. A. und Experimente i. B. (vgl. Gärtner, 2001, S. 229) als Lernaktivitäten zur Kompetenzförderung in allen vier *Kompetenzbereichen* heranzuziehen (vgl. Abschnitt 4.9.6.4). Dabei können zum einen intraökosystemare Wechselwirkungen kausalanalytisch untersucht (vgl. Klaes, 2008, S. 87), zum anderen Ursache-Wirkungsbeziehungen anthropogener Eingriffe erarbeitet werden (vgl. Baier, 2001, S. 25; Gärtner, 2001, S. 224 ff.): „Die Identifikation

eines Umweltproblemfalles erfordert die Feststellung des gegenwärtigen Zustandes, die Bewertung der Veränderungen, also die Ursachen und Wirkungen sowie die Suche nach Alternativen um möglichst nachhaltige Schutz- und Vorsorgemaßnahmen [sic]. [...] Alle [...] Aspekte lassen sich in ihren Wechselbeziehungen im Sinne des vernetzten [oder systemischen; vgl. auch Baier, 2001, S. 26; Sauerborn & Brühne, 2010, S. 17] Denkens darstellen und zwar nicht nur ausschließlich im Rahmen der Zustands- und Krisenbeschreibung. Im erweiterten Kontext der ‚Syndrombetrachtung‘ können die Folgewirkungen modelliert, simuliert und antizipiert werden“ (Gärtner, 2001, S. 226).

Als *Fazit* kann für die Auswahl eines solchen *Lernkontextes* in Verbindung mit Lernaktivitäten und Erfahrungsgelegenheiten an einem darauf abgestimmten *außerschulischen Umweltlernort* Folgendes festgehalten werden:

Der Aufbau experimenteller Problemlösefähigkeit wird bei solchen Nutzungskonflikten in einen kontextuellen Rahmen eingebettet, in dem die Lernenden erfahren, inwiefern die betreffenden „naturwissenschaftlichen Schlüsselkompetenzen eine starke Bedeutung für [(] die Bildung für [)] eine nachhaltige Entwicklung“ besitzen (de Haan, 2002, S. 24) und auch im Alltag Anwendung finden (vgl. Abschnitt 4.9.6.3). Sie erkennen, dass die experimentelle Analyse bzw. Prüfung von Handlungsoptionen (vgl. Reuschenbach & Schockemöhle, 2011, S. 8; Schmidt, 2014, S. 167) und die dabei gewonnene Evidenz in nachhaltigkeitsrelevanten Bereichen – auch ökonomischen und soziokulturellen – z. B. im Rahmen der Risikobewertung herangezogen werden können (vgl. Kremer, 2012, S. 11) und in demokratischen Beurteilungsprozessen bzw. bei „extensiven Entscheidungen“ (Schmidt, 2014, S. 168) als wertvolle Argumentationsbasis fungieren (vgl. de Haan, 2002, S. 25; Meisert, 2012 a, S. 226 ff.; Prenzel et al., 2007 b, S. 5; Sprenger & Otto, 2014, S. 265 f.). Experimentieren wird dabei als eine wichtige Möglichkeit erfahren, Sachkenntnisse zu generieren (vgl. Bayrhuber, Bögeholz, Elster et al., 2007, S. 285). Kompetenzen, welche die Validität und Generalisierbarkeit experimenteller Befunde einschätzen helfen, ermöglichen dabei, die Gültigkeit naturwissenschaftlicher Aussagen und deren Eignung als Argumentationsbasis zu prüfen (vgl. Bögeholz, 2007, S. 213, 215; Bögeholz, 2013, S. 73 ff.; Hammann, 2006b, S. 136; Meisert, 2012 a, S. 228, 233 ff.), was zur individuellen Urteilskompetenz beiträgt (vgl. Hauenschild & Bolscho, 2005, S. 80; Hößle, 2013, S. 73; Stäudel, 2010, S. 34). Die Folgen von Eingriffen in Mensch-Umwelt-Systeme kausalanalytisch zu untersuchen und künftige Szenarien in Abhängigkeit unterschiedlicher Maßnahmen abschätzen zu können (vgl. Hutter, Blessing & Köthe, 2012, S. 12 ff.), ist eine weitere Chance, die aus der Nutzung experimenteller Kompetenzen erwächst. Dies schafft ein Bewusstsein für die Bedeutung experimenteller Problemlösefähigkeit im Hinblick auf die eigene Mündigkeit und Handlungsfähigkeit (vgl. Wilhelm, Rehm & Reinhardt, 2010, S. 89). Nicht zu vergessen sind die positiven Einflüsse auf die Partizipations-, Kommunika-

tions- und Bewertungskompetenz (vgl. de Haan, 2002, S. 21 ff.; Hutter, Blessing & Köthe, 2012, S. 220 f.; KMK, 2005 a, S. 11 f.). Indem die Lernenden die Rolle von naturwissenschaftlichen Forschenden übernehmen, erfahren sie ihr eigenes Experimentieren als sinnvollen Beitrag zu einem verantwortungsbewussten Problemlöse- und ggf. auch Entscheidungsprozess im Kontext nachhaltiger Entwicklung (vgl. Wilhelm, Rehm & Reinhardt, 2010, S. 91). Dies beeinflusst mit Sicherheit nicht nur die wahrgenommene Wertigkeit der eigenen Arbeit, sondern auch das Selbstbewusstsein als handelnde, partizipierende Individuen. Hier zeigt sich mit Blick auf die Überlegungen in Kapitel 1: Experimentelle Problemlösefähigkeit ist auch vor diesem Hintergrund als wertvolle Schlüsselqualifikation (vgl. Schaub & Zenke, 1995, S. 299) und als Beitrag zu „Lebenskompetenz“ (Schaefer, 2002, S. 87 ff.) zu betrachten.

Zusammenfassend beurteilt erscheinen Nutzungskonflikte als eine gute Möglichkeit, Lehr-Lernprozesse zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit in Verbindung mit ökologischer Bildung bzw. Bildung für Nachhaltige Entwicklung zu kontextualisieren: Alle von der Kultusministerkonferenz festgelegten Kompetenzbereiche (s. KMK, 2005 a, S. 6 ff.) können darin integriert und aufeinander bezogen werden (vgl. Parchmann, 2009, S. 80 f.): Dabei kommt der *Erkenntnisgewinnung* durch Experimentieren eine zentrale Rolle zu, *Fachwissen* wird erworben bzw. genutzt, *kommuniziert* und sowohl fachliche Argumente bzw. antizipierte Szenarien als auch die Methodologie experimenteller Untersuchungen *beurteilt*.

3. „ZuKAKo-Regel“ und „Werkzeugkiste“ zur Unterstützung der Selbstregulation

Gerade bei der experimentellen Problemlösung ist bei jungen Heranwachsenden häufig unsystematisches und fehlerhaftes Vorgehen zu beobachten (s. Tab. 4-1 in Abschnitt 4.7.3; vgl. Hammann, 2004; Hammann & al., 2006), und es fällt vielen schwer, Arbeits„strategien auszuwählen, zu kombinieren und zu koordinieren“ (Baumert et al., 2001, S. 272; vgl. auch Walpuski, 2006, S. 35). Insofern spricht vieles dafür, die Lernenden bei der Anwendung von Strategien in Form von *Scaffolding-Maßnahmen* (vgl. Abschnitt 4.9.8.3) zu unterstützen – zumal in der Orientierungsstufe die Nutzung von Heuristiken und Lernstrategien oftmals noch nicht zur Routine geworden ist (vgl. Mietzel, 2008, S. 266).

Als Orientierungshilfe für die Planung und Durchführung von Experimenten (vgl. Drieschner, 2004, S. 76) werden im EXP-Treatment neben *Karten mit gestuften Hilfe* (vgl. z. B. Barzel et al., 2011, S. 47; Franke-Braun, 2008; Stäudel & Mogge, 2008¹⁰⁴) zwei vom Verfasser entwickelte *Mnemotechniken* als *scaffold*, also als eine Art Stützgerüst (s. Abschnitt 4.9.8.3;

¹⁰⁴ Vgl. auch im Anhang die Beschreibungen zu Stunde 9 und Modul V beim zweiten Aufenthalt am Naturschutzzentrum (s. Abschnitte 9.2.2 sowie 6.3.3.4).

vgl. Parchmann, 2009, S. 78) eingeführt und angewendet. Diese sollen den Arbeitsspeicher des Gedächtnisses entlasten (vgl. Hildebrandt & Bayrhuber, 2008, S. 15 f.) und den Lernenden helfen, ihre (meta-)kognitiven Aktivitäten bei der Prozesssteuerung zu koordinieren bzw. zu strukturieren (vgl. Baumert et al., 2001, S. 272; Krapp & Weidenmann, 2006, S. 166 f.).

Gute Mnemotechniken zeichnen sich aus durch (a) eine einprägsame Struktur, (b) anschauliche Möglichkeiten der Vergegenwärtigung und (c) hilfreiche Anker für kognitive Verknüpfungen. Bei den beiden verwendeten Techniken handelt es sich um Formen der so genannten Kettenmethode (vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Mnemotechnik>, 10.12.2010). Die Zerlegung des anspruchsvollen experimentellen Prozederes in einzelne Teilschritte, die ins hypothetisch-deduktive Verfahren eingebettet sind, stellt ein effektives Mittel zur Problemlösung dar. Schließlich reduziert sich die Komplexität der Gesamtaufgabe, handelt es sich beim selbstgesteuerten Experimentieren doch um „a complex activity requiring the coordination of many subgoals“ (Schauble et al., 1991, S. 859; vgl. auch Germann et al., 1996). Die Benennung und Veranschaulichung der Teilschritte anhand von Merkhilfen kann Grundlage für eine effektive Handlungsregulation sein (vgl. Aebli, 1998, S. 74 f.). Wie neuere kognitionspsychologische Erkenntnisse vermuten lassen (vgl. Mähler & Stern, 2006, S. 791), spielen gerade solche mentalen Strukturierungs- und Regulationshilfen eine wichtige Rolle bei Fördermaßnahmen, bei denen die Vermittlung von Methoden und Strategien von Bedeutung sind. Für offenes, eigenständiges Lernen und Arbeiten sind solche metakognitiven Strategien eine wichtige Stütze: Sie helfen Lernende dabei, „den eigenen Lernprozess [weitgehend; der Verfasser] ohne externe Hilfe oder Kontrolle erfolgreich zu steuern“ (Krapp & Weidenmann, 2006, S. 245), d. h. zielorientiert zu planen und systematisch durchzuführen. Studien zufolge ist die Aneignung von Lernstrategien – z. B. solcher Mnemotechniken – besonders dann erfolgreich, wenn diese domänenspezifisch anhand praxisorientierter und speziell für die Anwendung der Strategien konzipierter Aufgaben erfolgte und dies durch metakognitive Reflexion flankiert wurde (vgl. Krapp & Weidenmann, 2006, S. 252). Dies wurde im Treatment EXP berücksichtigt: Die Lernenden mussten die Notwendigkeit entsprechender Teilschritte und Regeln immer wieder gemeinsam reflektieren und kommunizieren. Darüber hinaus konnten die Mnemotechniken nach ihrer Einführung in vielen analogen Beispielen immer wieder eingesetzt werden.

Um welche Techniken handelt es sich konkret, und welche Intentionen stehen dabei im Fokus? Das Bewusstsein für die Notwendigkeit und die Kompetenzen zur erfolgreichen eigenständigen Anwendung von Kontroll-Ansatz und Variablen-Kontrollstrategie ist bis zum Alter von etwa zwölf Jahren noch im Aufbau begriffen (vgl. Schneider et al., 1998, S. 71). Die Gedächtnisanker (vgl. Stangl, 2006, S. 90) der beiden im Folgenden erläuterten Mnemotechniken sollen ...

- die Funktion des Experiments als Kausalhypothesen prüfende Erkenntnisgewinnungsmethode ins Gedächtnis rufen,
- den Lernenden bei der Selbstregulation während des Experiments helfen,
- sie an die Notwendigkeit von Kontrollansatz und Variablenkontrolle erinnern,
- z. T. auch veranschaulichen, dass es weitere, schlecht kontrollierbare oder nicht bewusste Störvariablen gibt, welche die Aussagekraft bzw. Eindeutigkeit der Befunde relativieren können.

Auf diese Weise kann der Einsatz der Mnemotechniken auch ...

- zum besseren konzeptuellen Verständnis der experimentellen Methode beitragen,
- das Selbstkonzept durch Kompetenzerleben und steigende Selbstwirksamkeitsüberzeugungen verbessern (vgl. Baumert et al., 2001, S. 297; Deci & Ryan, 2010).

Die im Folgenden detailliert vorgestellten Mnemotechniken sind sehr anschaulich und können in verschiedenen Phasen des Experiments genutzt werden (s. u.). Dabei sind sie nicht nur bei der Planung, Steuerung und Auswertung eigenständigen Experimentierens behilflich (vgl. Baumert et al., 2001, S. 272): Sie können Lernende auch bei der Bewertung der Güte vorgegebener Experimente unterstützen. Beiden Heuristiken ist gemeinsam, dass sie eine Reihenfolge von Strategien bzw. Handlungsschritten betreffen und dabei Prinzipien und Regeln für erfolgreiches Experimentieren zu assoziieren und bekannte Strategien zu nutzen helfen.

Als erste Mnemotechnik wird die so genannte „*Werkzeugkiste*“ (zuweilen auch als „PROFI-Box“ bezeichnet) vorgestellt. Sie wird zu Beginn des Moduls I während des ersten Aufenthaltes am Naturschutzzentrum (s. Tab. 6-2 in Abschnitt 6.3.3.4 und Abschnitt 9.2.2) konkret-anschaulich eingeführt: Im größten Fach einer Handwerkerbox (s. Abb. 6-7 und 6-8) werden sämtliche erkannte generell veränderliche Größen (unabhängige Variablen) in einem zu analysierenden System auf Zetteln gesammelt¹⁰⁵. Nun werden diejenigen, deren jeweilige Ausprägung kontrolliert werden kann, in eines der oberen, kleineren Fächer gepackt. Es muss auch explizit bewusst gemacht werden, dass ein Teil der unabhängigen Faktoren entweder schlecht oder nicht kontrollierbar sind oder überhaupt nicht bekannt sind – diese verbleiben im ursprünglichen Fach und werden als potentielle Störgrößen betrachtet. Innerhalb der kontrollierbaren Faktoren gibt es solche, die als ‚prominenteste‘ Ursache vermutet werden. Nacheinander wird

¹⁰⁵ Fischer (2010, S. 423) verfolgt eine ähnliche Strategie, wenn Lernende auf deren „Forschungstafeln“ (*Inquiry Boards*) nach einem Brainstorming variable Systemgrößen notieren, die als beeinflussende Faktoren in Frage kommen könnten.

je eine der Kontrollgrößen isoliert und als Testgröße untersucht. Auf der gegenüberliegenden Seite der „Werkzeugkiste“ wird diese eine Testgröße in ein Fach gelegt. Auf neuen Zetteln können verschiedene Ausprägungen dieser Variable festgehalten werden (in Abb. 6-7 als „x“ und „x̄“ gekennzeichnet) – als Hilfe zur Planung von Ansätzen (samt Kontrolle). Wurde eine Testgröße experimentell hinsichtlich eines Kausalzusammenhangs analysiert, und wird diese Hypothese anhand der empirischen Daten falsifiziert, können weitere Testgrößen je einzeln anhand geeigneter Apparaturen und Verfahrensweisen untersucht werden. Dabei gilt es, stets die Ausprägungen aller Kontrollgrößen konstant zu halten. Die reale „Werkzeugkiste“ kann später durch Kopien (s. Abb. 6-8) oder durch Plakate ersetzt werden, die in den einzelnen „Fächern“ beschriftet werden, was die Lernenden an diese Vorgehensweise erinnert. Nachdem die „Werkzeugkiste“-Methode beim ersten Aufenthalt am Naturschutzzentrum eingeführt wird, dient sie in nachfolgenden Lernmodulen, bei denen die Lernenden selbst experimentieren, als Hilfe, den Arbeitsprozess zu strukturieren und die Selbstregulation zu unterstützen.

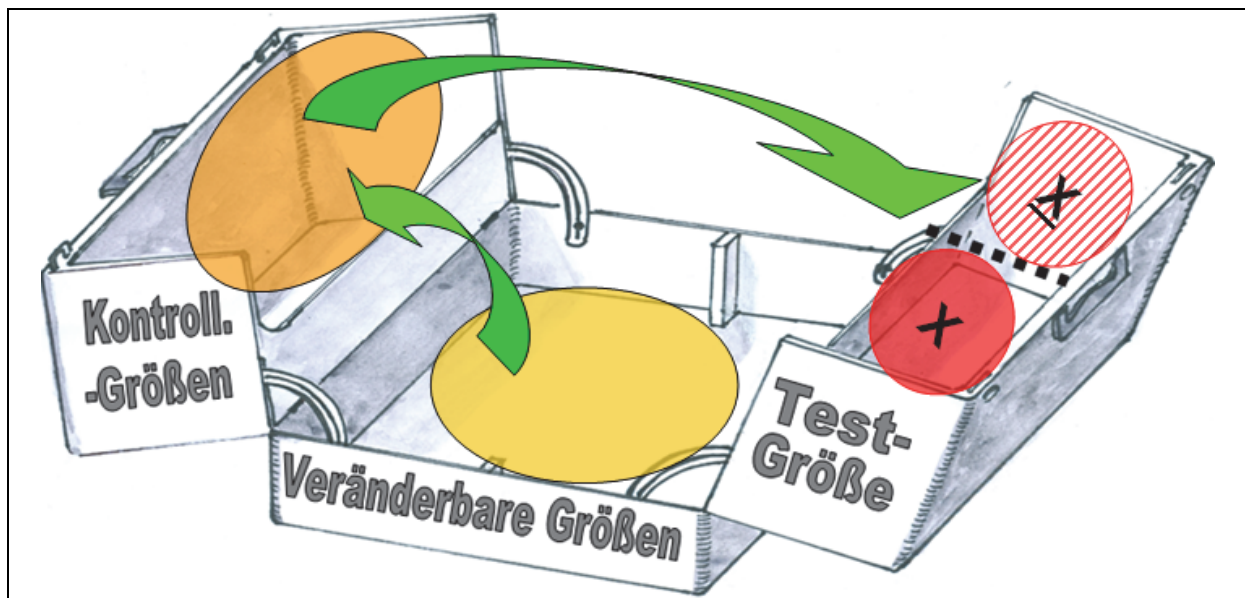


Abb. 6-7. Mnemotechnik-Objekt „Werkzeugkiste“¹⁰⁶

Anmerkungen. x: bestimmte Ausprägung der Testvariablen. \bar{x} : isoliert veränderte Ausprägung dieser Testvariablen.

Zusammenfassend kann diese Mnemotechnik bezüglich folgender Aspekte nützlich sein:

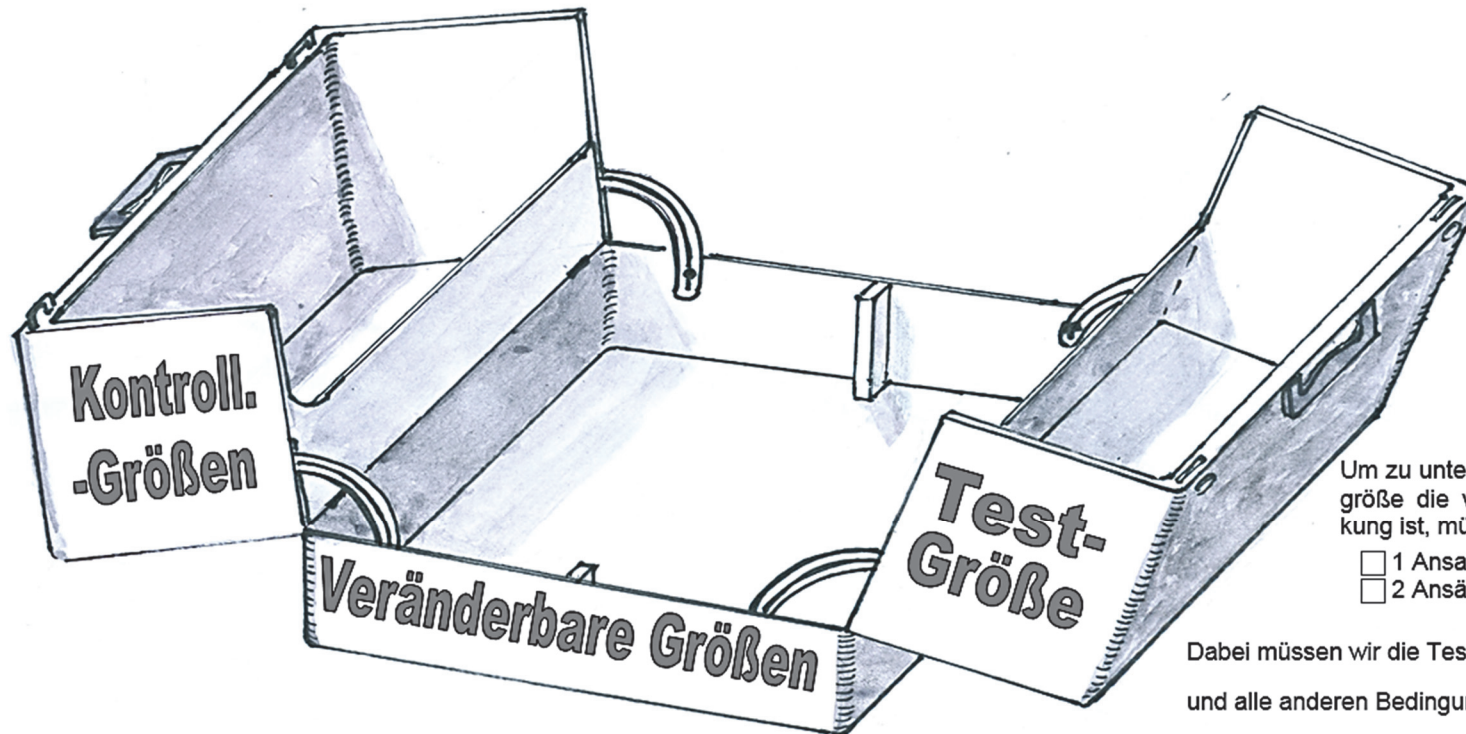
- Hypothesensuchraum bewusst machen und Ergebnisse der Suche darstellen,
- Kontrollgrößen und isolierte Testgrößen unterscheiden – auf Variablenkontrolle bei den Kontrollgrößen bzw. Variation der Testgröße hinweisen,
- Notwendigkeit von vergleichbaren Kontrollansätzen veranschaulichen,
- systematische Planung von Versuchsreihen unterstützen,
- Bewusstsein für Störgrößen bei der Interpretation von Ergebnissen wach halten.

¹⁰⁶ Zeichnung: Verfasser

Mit einem Experiment können wir untersuchen, ob es einen **Zusammenhang zwischen zwei Dingen** gibt. Ein Zusammenhang besteht immer dann, wenn eine bestimmte **Ursache (= Bedingung)** eine bestimmte **Wirkung** hat.

Dafür überlegen wir uns, ...

- (1.) ... welche Bedingungen sich **überhaupt ändern** könnten (auf natürlichem Weg oder durch einen Eingriff durch Menschen): Sie alle könnten theoretisch eine mögliche Ursache sein. Dabei markieren wir diejenigen, die wir als Ursache vermuten. Aber wir schreiben auch alle anderen auf, die uns einfallen. Denn wir müssen ja erst überprüfen, ob wir Recht haben mit unserer Vermutung, oder ob eine andere Bedingung zu der bestimmten Wirkung führt.
- (2.) ... welche dieser Bedingungen wir gezielt messen, verändern und **kontrollieren** können. Wir schreiben diese Bedingungen auf und überlegen, wie wir sie genau kontrollieren können.
- (3.) ... welche einzelne Bedingung wir bei einem bestimmten Experiment überprüfen möchten. Das ist unsere **Testgröße**.



Um zu untersuchen, ob *eine* bestimmte Testgröße die vermutete Ursache für eine Wirkung ist, müssen wir immer ...

- 1 Ansatz
- 2 Ansätze ... planen und durchführen.

Dabei müssen wir die Testgröße _____
und alle anderen Bedingungen _____.

Abb. 6-8. Arbeitsblatt zur Einführung der „Werkzeugkiste“ als Hilfe zur Prozessregulation

Die zweite Mnemotechnik trägt eine auf den ersten Blick ungewöhnliche Bezeichnung: Bei der „ZuKAKO-Regel“ handelt es sich um ein Akronym, also um ein „Kurzwort aus den Anfangsbuchstaben mehrerer Wörter“ (Stangl, 2006, S. 93). Diese werden – was mnemotechnisch häufig genutzt wird – mit Körperteilen als visualisiertem, „memoriale[m] Stützsystem[...]“ verknüpft (Stangl, 2006, S. 90) – nämlich Daumen, Zeige- und Mittelfinger (vgl. Abb. 6-9). Die gewohnte Abzählgeste an diesen Fingern soll an die Bedeutung der Hierarchie der drei Aspekte „Zusammenhänge analysieren“ – „Kontrollansatz berücksichtigen“ – „Variablen kontrollieren“ erinnern. Das Akronym stellt gewissermaßen einen „Klumpen“ (*chunk*) zur Verbindung verschiedener Begriffe – hier: Strategien – dar und vermag, den notwendigen Speicherplatz des Arbeitsgedächtnisses zu reduzieren (vgl. Steiner, 2006, S. 166). Durch wiederkehrendes Ansprechen der ZuKAKo-Regel soll diese ins Langzeitgedächtnis überführt werden (vgl. Stangl, 2006, S. 95). Dass dies bei vielen Lernenden gelang, bestätigten Befragungen und Beobachtungen während der Naturschutzzentrumsaufenthalte.



Abb. 6-9. „ZuKAKo-Regel“ als mnemotechnische Stützstrategie¹⁰⁷

4. Phänomenologische Zugänge zum abstrakten Bewusstsein für externe Validität.

Experimentelle Problemlösefähigkeit in der Domäne *Ökologie* geht über domänenübergreifende experimentelle Kompetenzen hinaus. Das Wissen um besondere Eigenschaften von Ökosystemen als hochkomplexe teilweise lebende Systeme ist notwendig, vermutlich jedoch

¹⁰⁷ Zeichnung: Verfasser

nicht hinreichend, um nicht nur aussagekräftige sondern auch repräsentative, also extern valide Experimente zu planen bzw. experimentell gewonnene Befunde angemessen zu interpretieren bzw. zu beurteilen. In diesem Zusammenhang war bei der Planung des Treatments EXP zu klären, wie man ein solches Bewusstsein für *Kriterien der externen Validität* optimal fördern könnte – und zwar bei Probanden, die angesichts des geringen Alters die Fähigkeit zur Abstraktion erst noch weiterentwickeln (s. Abschnitt 4.7.1.1). Es erschien sinnvoll, Kriterien externer Validität zu schulen, die unmittelbar als die Aussagekraft einschränkende Sachverhalte erfahren werden können: u. a. durch die direkte Konfrontation mit anschaulichen Phänomenen sowie durch das Kennenlernen methodologischer Möglichkeiten, bei den konkreten Beispielen die externe Validität der entsprechenden Experimente zu steigern. Sicher spielen daneben auch angeleitete Reflexion und Lösungsbeispiele bei der Beurteilung vorgegebener Experimente bzw. Interpretationen eine wichtige Rolle. Im Idealfall steht für entsprechende angeleitete Lernaktivitäten viel Zeit zur Verfügung. Aus forschungsethischen Gründen war es jedoch gegenüber den beteiligten Lehrkräften geboten, die Gesamtdauer des Treatments nicht stärker auszuweiten, was die *time on task* begrenzte (vgl. Abschnitt 6.3.3.2).

Mit Blick auf die oben angesprochenen didaktischen Chancen der Realerfahrung durch Originalbegegnung wurde auf Ideen für experimentelles Arbeiten im ökologischen bzw. verhaltensbiologischen ‚Anfangsunterricht‘ zurückgegriffen, die für die Orientierungsstufe (bzw. sogar bereits für die Primarstufe; vgl. Blaseio, 2010) vorgeschlagen werden:

- *Taxisphänomene* (Ortspräferenz) bei Asseln¹⁰⁸ (Vorschläge finden sich z. B. bei Böger, 2001, S. 53 f.; Eckebrecht, Eckebrecht & Kluge, 2006, S. 218, 226; Freytag, 2007, S. 362 ff.; Hellberg-Rode, 2002-2004; Meier, 2016, S. 37; Ogilvie & Stinson, 1995, S. 56 ff.; Sapper & Widhalm, 2001, S. 65; Stäudel & Mogge, 2008, S. 12 ff.),
- *Beeinflussung von Keimung und Wachstum* bei Pflanzen (Vorschläge finden sich z. B. bei Eckebrecht, Eckebrecht & Kluge, 2006, S. 258 f.; Freytag, 2007, S. 636 ff.) sowie
- *Modellexperimente* zu Funktionen bzw. Wirkungen von Schutzwäldern.

Mit den beim zweiten Aufenthalt am Naturschutzzentrum realisierten *Modellexperimenten* zu Funktionen von Schutzwäldern und Eignung verschiedener Baumarten¹⁰⁹ waren verschiedene

¹⁰⁸ Besonders gut eignen sich Mauerassel (*Oniscus asellus*) oder *Trachelipus ratzeburgi*, die im Zusammenhang mit der Atmung auf feuchtere Habitate angewiesen sind und somit eindeutiger Beobachtungsergebnisse bei Habitatpräferenz-Experimenten ermöglichen (vgl. Westheide & Rieger, 2007, S. 634); bei der Kellerassel (*Porcellio scaber*) hingegen sind die Tracheenlungen bzw. Pseudotracheen bereits effektiver an trockenere Habitate angepasst. Alternativ wären in der Orientierungsstufe auch Experimente mit Wasserflöhen (z. B. *Daphnia magna*) möglich (vgl. Meier & Wulff, 2012), was im Kontext Waldökologie jedoch wenig Sinn macht.

¹⁰⁹ Anregungen zu Modellexperimenten zu Funktionen von Schutzwäldern finden sich u. a. bei Bayerisches Staatsministerium (2004, IV. Schwerpunktthemen, S. „Boden 11“; ebd. zur Bodenverdichtung: „Boden 10“), Hell (2001,

Intentionen verbunden (vgl. auch die Erläuterungen zu diesem Lernmodul in den Abschnitten 6.3.3.4, Tab. 6-2, und 9.2.2):

Erstens sollten die Lernenden die bereits erarbeiteten *domänenübergreifende experimentelle Kompetenzen anwenden und einüben*: epistemische Forschungsfragen und aus der Theorie heraus begründete Vermutungen (Hypothesen) formulieren sowie Prognosen artikulieren, ein unkonfundiertes Experiment planen und durchführen (unter Berücksichtigung eines Kontrollansatzes, der isolierenden Variablenmanipulation und der Variablenkontrollstrategie), dafür die unabhängige und die abhängige Variable operationalisieren, eine quantitative Hypothesentestung durch geeignete Apparaturen und Messungen umsetzen sowie die Evidenz analysieren und interpretieren.

Zweitens sollte der Experiment-Begriff ausgeweitet und um Modellexperimente ergänzt werden (vgl. Abschnitt 4.11.2). Untrennbar sind damit auch Überlegungen zur Modellkritik verbunden (vgl. Gropengießer et al., 2010, S. 96 f.; Mikelskis-Seifert & Euler, 2005, S. 20).

Drittens wurde bei der gegenseitigen Präsentation der Forschungsplakate zu den einzelnen Modellexperimenten im Plenum (vgl. Abschnitt 9.2.2) auch kritisch über die Angemessenheit der experimentellen Designs (vgl. von Aufschnaiter & Riemeier, 2005 a, S. 9; Langlet, 2001, S. 8) und der Modelle sowie über die Interpretation und Generalisierbarkeit der experimentell gewonnenen Befunde gesprochen (vgl. Bybee, 1997, S. 162; Bylebyl et al., 2010, S. 7; Haury, 2001, S. 3; Lehrer & Schauble, 2006, S. 381; Lunetta et al., 2007, S. 405; Meier & Wulff, 2013, S. 488; Neuhaus, 2011, S. 14 f.; Parchmann, 2010, S. 24; Rieck & Stadler, 2008, S. 216 f.; Stäudel, 2010, S. 32; Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010, S. 42; Urhahne & Harms, 2006, S. 372). Dies mündete in gemeinsame Überlegungen zur Optimierung der jeweiligen Modellierungen (vgl. Upmeier zu Belzen, 2013, S. 327). Überdies überlegten sich alle Lernenden, welche funktionalen Zusammenhänge und Kausalbeziehungen in den Modellexperimenten aufgedeckt wurden und in welchem Maß diese auf die Realität übertragbar sein könnten (vgl. Urhahne et al., 2000, S. 166). Dabei handelt es sich um eine Reflexion zur externen Validität.

Hier wird die *Bedeutung der sozialen Interaktion und Kommunikation* innerhalb der Lerngruppe für die „Produktion naturwissenschaftlichen Wissens“ (Hammann & Asshoff, 2014, S. 91) offensichtlich (vgl. Hart et al., 2000, S. 672; Magnusson, Sullivan Palincsar & Templin, 2006). Schließlich tragen solche reflexiven Lernaktivitäten nicht nur zur Beschäftigung mit naturwissenschaftlichen Inhalten der untersuchten Domäne bei: Vielmehr sorgen sie auch in hohem Maß für eine intensive kognitive Aktivierung und für eine vertiefte Verarbeitung der erlernten epistemologischen Strategien und Kenntnisse (vgl. Baer et al., 2015, S. 190) – die Elaboration

S. 11, 18 f.), Lamberty (2007, S. 56), Landesinstitut für Erziehung und Unterricht (1998, S. 71 ff.: Informationen), Schmidt (2003, S. 74 f.).

in einer *Community of Practice* wird in der konstruktivistischen Auffassung von Lernen als „wesentliche Voraussetzung für ein effektives Lernen“ angesehen (Mandl & Kopp, 2003, S. 74). Überdies wird bewusst, dass die Interpretation von Forschungsbefunden u. U. im gemeinsamen Austausch „zwischen den Wissenschaftlern ausgehandelt wird“ (Merzyn, 2015, S. 6; vgl. auch Birkholz & Elster, 2016, S. 78; Höttecke, 2004 a, S. 272 f.; McGinn & Roth, 1999, S. 19) – dies stellt einen Beitrag zu einem elaborierteren *Nature of Science*-Verständnis dar.

Als Fazit lässt sich sagen, dass im Treatment EXP versucht wurde, mit den Lernenden erste Zugänge zur anspruchsvollen externen Validität von Experimenten zu finden. Für diesen Zweck hielt die Lernumgebung anschauliche Originalbegegnung mit Phänomenen genauso bereit wie interaktive Primärerfahrungen und intensive reflexive Auseinandersetzung mit ausgewählten – zumindest dem Anschein nach – adressatengerechten, altersangemessenen Kriterien und Aspekten der externen Validität in mehr oder weniger komplexen Systemen.

Abbildung 6-10 zeigt Impressionen des Lernmoduls mit Modellexperimenten zu Schutzwirkungen des Bergwaldes.



Abb. 6-10. Lernende experimentieren in ‚Forschungsteams‘ und präsentieren und diskutieren in der ‚Science Community‘

Anmerkungen. Die abgebildeten Personen haben ihr Einverständnis zur Veröffentlichung der Fotos gegeben. Fotos: Verfasser, 2009, 2010.

7 Synopse der Einzelbeiträge – Verortung, Implikationen und Ausblick

7.1 Zielsetzungen und Strukturierung des Kapitels

Dieses abschließende Kapitel führt die Befunde der in der vorliegenden Arbeit referierten Publikationen des Verfassers zusammen, stellt zwischen ihnen Bezüge her und diskutiert sie im Kontext der aktuellen naturwissenschaftsdidaktischen Forschung.

Wie in den Abschnitten 6.1 angekündigt bzw. in 6.2 und 6.3 beschrieben umfasste das eigene e^xMNU-Forschungsprojekt mehrere Teilstudien. So stehen im Folgenden zum einen die Befunde der *Analyse von naturwissenschaftlichen Schulbüchern* und dazu gehörigen *Lehrerhandreichungen* im Mittelpunkt, die das theoretische Förderpotenzial (s. auch Abschnitt 4.11.3) und die tatsächliche Gestaltung konkreter Veröffentlichungen in der Orientierungsstufe beleuchtete. Zum anderen wird auf die *Interventionsstudie* in der Domäne *Ökologie* Bezug genommen, bei der sowohl verschiedene *Treatments* als auch *Evaluationsinstrumente* eine Rolle spielten. Neben kurzen Zusammenfassungen der in den Einzelbeiträgen referierten Erkenntnisse aus den Teilstudien gilt es dabei, die bislang publizierten Diskussionen um weitere, zum Teil aktuellere Befunde der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung der letzten Jahre zu ergänzen. Auch werden auf der Basis der Zusammenschau der Teilstudien weiterführende Schlussfolgerungen für die Schulpraxis abgeleitet. Hierbei gilt es zu bedenken, ob und inwiefern Verallgemeinerungen gerechtfertigt sind oder aber die Aussagekraft als Konsequenz der methodologischen Charakteristika zu relativieren ist. Nicht fehlen dürfen darüber hinaus Abschnitte mit Ausblicken, die Forschungsdesiderate aus erst in Ansätzen geklärten bzw. neu aufgeworfenen Fragen vorstellen.

Als Grundlage zur Strukturierung der Ausführungen wird wiederum das in Abschnitt 4.1 ausführlich dargestellte Mehrebenenanalytische Rahmenmodell nach Rieß (2012, S. 160) herangezogen (s. Abbildung 4-1). Auch werden Bezüge zum eigenen Modell experimenteller Problemlösefähigkeit (s. Abbildung 3-2, Abschnitt 3.3.3) hergestellt.

7.2 Grundlegende Überlegungen zur Validität und zu Schlussfolgerungen

In den sich nun anschließenden Abschnitten wird an zahlreichen Stellen evident, dass es angesichts begrenzter Ressourcen nicht optimal möglich war, das Design der Interventionsstudie so zu gestalten, dass möglichst eindeutige, also *intern valide Befunde* zu Kausalwir-

kungen durch einzelne, also spezifische Treatmentmerkmale auf die untersuchten Lerneffekte gewonnen werden konnten. Um den Nachvollzug der sich daran anschließenden Überlegungen zu erleichtern, wird das in der eigenen Wirkungsstudie beobachtbare Phänomen in Box 7-1 kurz skizziert und in Bezug zu den Befunden anderer Studien gesetzt:

Box 7-1. Zusammenfassende Bewertung zentraler Befunde der eigenen Interventionsstudie

Ad Forschungsfragen F1, F-2 und F-3 (vgl. Abschnitt 6.1.7, Tab. 6-1): In der komplexen Domäne (*Wald*-)Ökologie wurden in der problemorientierten, kognitiv recht anspruchsvollen Lernumgebung des Treatments EXP im Lernkontext *Flächennutzungskonflikt* alle vier Bildungsstandard-Kompetenzbereiche (vgl. KMK, 2005 a, S. 6 f.; Parchmann, 2009) i. S. einer Bildung für Nachhaltige Entwicklung berücksichtigt (vgl. de Haan, 2002, S. 20 ff.; Hauenschild & Bolscho, 2005, S. 45 f.; Rieß, 2010, S. 10 f.; Schockemöhle, 2013, S. 77 ff.). Bei der statistischen Auswertung der Befunde der Interventionsstudie (Realschule, Klassenstufe 6) zeigte sich, dass bei den Probanden dieser Treatmentgruppe der Großteil der untersuchten Kompetenzen (Kompetenzen *Epistemische Fragen formulieren*, *Eigenes Experiment planen* und *Ansätze vergleichen*) zwar gefördert wurde (vgl. Roesch et al., 2015; Rösch et al., 2012). Allerdings waren die beobachteten Effekte gegenüber den Kontrollgruppen relativ klein. Nichtsdestotrotz ist zu bedenken, dass die beobachteten Effekte *trotz* bzw. *angesichts* der hohen kognitiven Belastung (vgl. Roesch et al., 2015, S. 593 ff.) infolge der zunehmenden Offenheit der Arbeits- und Lernprozesse (vgl. Neber & Anton, 2008 b, S. 146; Schmidt et al., 2011, S. 362), durch die ungewohnte Umgebung des Naturschutzzentrums und durch höheren *cognitive load* angesichts des anspruchsvollen Kontexts keineswegs trivial sind.

Ad Forschungsfrage F-7 (vgl. Abschnitt 6.1.7, Tab. 6-1): Die Performanz der Kompetenz *Verständnis für die Bedeutung der Beobachtungsdauer und Stichprobengröße* (Rösch, 2015, S. 16) wurde in der auch diesbezüglich speziell gestalteten Treatmentgruppe EXP im Vergleich zu Kontrollgruppen nicht signifikant gefördert.

Bennett et al. (2006, S. 362) gelangen vor dem Hintergrund zahlreicher Interventionsstudien zu der evidenzbasierten Ansicht, dass schulische Treatments nicht selten lediglich kleine Effekte aufweisen (vgl. auch Wilhelm & Hopf, 2014, S. 32). In einer Longitudinalstudie im Anschluss an PISA 2003 wurden im Verlauf eines Schuljahres im naturwissenschaftlichen Bereich insgesamt auch lediglich kleine Effektstärken ($d = 0.24$) beobachtet (vgl. Hammann & Prenzel, 2008, S. 74). Ein ähnliches Bild zeigt die Analyse der Entwicklung wissenschaftsmethodischer Kompetenzen von Grube und Mayer (2010, S. 161 ff.) für verschiedene Klassenstufen. Lediglich kleine Effekte fand man selbst in Studien mit stark fokussierenden, also auf wenige Zielkriterien begrenzten, Förderkonzepten (vgl. Neber & Anton, 2008 b, S. 149). Ganser und Hammann (2009 b, S. 387) konnten in einer Stichprobe aus verschiedenen Schularten sogar keine signifikanten Effekte bei der Förderung experimenteller Kompetenzen finden. Der Vergleich mit anderen Studien (z. B. Ehmer, 2008; Hof, 2011; Schmidt & Möller, 2015) führt gleichwohl die geringe bzw. inferenzstatistisch ausbleibende Wirkung des implementierten Treatments EXP in der Interventionsstudie des Verfassers vor Augen und lässt die Frage nach möglichen Ursachen aufkommen. Im Folgenden werden für naheliegende zu vermutende Ursachen mit Blick auf besser abgesicherte empirische Erkenntnisse der fachdidaktischen Unterrichtsforschung Argumente diskutiert.

„Many variables interact to influence student achievement and attitudes, and searching for single cause-effect relationships in teaching and learning associated with the laboratory is contrary to the complexity that we have come to know is inherent in meaningful science teaching for human learners.“

(Lunetta et al., 2007, S. 429)

In vielerlei Hinsicht erscheinen *Interaktionen* zwischen bewusst gestalteten Treatmentmerkmalen (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 532 ff.; Rieß, 2012, S. 159; Rost, 2007, S. 44, 102) sowie Randbedingungen, die als Störgrößen in Frage kommen (vgl. Rost, 2007, S. 71), als Ursache für bestimmte Befunde der Interventionsstudie plausibler als *einzelne* Einflussfaktoren (vgl. das Zitat von Lunetta et al., 2007, S. 429; vgl. auch Theyßen, 2014, S. 68; Wilhelm & Hopf, 2014, S. 33). Deren Isolation und kontrollierte Variation (vgl. Wilhelm & Hopf, 2014, S. 33) konnte methodologisch aufgrund der Rahmenbedingungen nur begrenzt umgesetzt werden. Einige Erkenntnisse der Wirkungsstudie (Rösch et al., 2015; Rösch et al., 2012) gestatten somit streng genommen lediglich eine recht grobe ‚Auflösung‘ von Gelingensbedingungen bzw. limitierenden Größen bei der Förderung von als Zielkriterien (s. Abschnitt 4.1) fokussierten Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit: Neben einer Randomisierung bei der Probandenzuweisung zu den Experimentalbedingungen fehlten in dem Quasiexperiment auch sowohl eine feinere Differenzierung bzw. Spezifizierung der potenziell ursächlichen Treatment- bzw. Stichprobenmerkmale (z. B. Domäne, Kontextanforderungen, Schultartzugehörigkeit) als auch deren jeweils kontrollierte Variation im Rahmen geeigneter Vergleichsgruppen (vgl. auch Bortz & Döring, 2006, S. 551). Somit handelt es sich bei den Treatments um „Behandlungspaket[e]“ sensu Rost (2007, S. 115). Diese sind mit einer *Konfundierung* von Wirkungen verbunden, die wie gesagt aus methodologisch nicht voneinander abgegrenzten Treatmentmerkmalen und Störgrößen resultieren (vgl. auch Reinmann, 2005, S. 57).

Somit „weiß man bestenfalls, welche Effekte diese verschiedenen gebündelten Maßnahmen [in der eigenen Studie die Treatments EXP, SYS, moderat homogene KG_{Öko}, heterogene KG₀ und KG_{Affekt}.] in ihrem [jeweiligen] Zusammenwirken haben. Man weiß nicht, welche der im Paket realisierten Behandlungskomponenten effektfördernd (also erwünscht), welche effektneutral (d.h. eigentlich nur schmückendes Beiwerk, also überflüssig [bzw. nicht problematisch]) und welche eventuell effektbehindernd sind (also unerwünscht) [vgl. auch Wilhelm & Hopf, 2014, S. 33]. Und man weiß auch nicht, wie die Effekte ausfallen würden, ließe man eine Komponente weg, fügte man eine weitere hinzu oder tauschte man eine gegen eine andere aus“ (Rost, 2007, S. 115). Hieraus ergibt sich in logischer Konsequenz die Notwendigkeit einer ‚tentativen‘ und entsprechend vorsichtigen Deutung der Befunde sowie relativierender Schlussfolgerungen für die Schulpraxis.

Dass die Ursache(n) für die geringen bzw. ausbleibenden Effekte des Treatments EXP nicht eindeutig benannt werden können, ist aus methodologisch-epistemologischer Perspektive u. a. der Tatsache geschuldet, dass eine quasiexperimentelle Feldstudie (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 53 ff.; Ganser & Hammann, 2009 b, S. 391) durchgeführt wurde (s. Abschnitt 6.3.3.1). Auf der einen Seite reduziert ein solches methodisches Procedere die interne Validität und folglich auch die Deutbarkeit der Befunde (vgl. Rost, 2007, S. 114; Sommer, 2005, S. 8 ff.). Auf der anderen Seite berücksichtigt die Vorgehensweise in der Nutzung des natürlichen Klassenverbandsettings in gewohnter Lernumgebung wichtige Prinzipien, welche die *ökologische Validität* der Studienergebnisse erhöhen (vgl. Helmke, 2009, S. 51; Rost, 2007, S. 118).

Zusammengefasst ergibt sich in logischer Konsequenz als ein Desiderat der fachdidaktischen Forschung, die tatsächlichen Ursachen für die moderate Performanzentwicklung (vgl. Lunetta et al., 2007, S. 429) differenzierter zu untersuchen (vgl. Wilhelm & Hopf, 2014, S. 35). Hier läge es nahe, zuerst besser kontrollierte Laborstudien (vgl. von Aufschnaiter, 2014, S. 86) mit randomisierter Experimentalgruppenzuweisung durchzuführen und die Befunde später in ökologisch valideren Projekten zu überprüfen.

Welche *Faktoren* könnten die Effekte in der eigenen Interventionsstudie (s. Rösch, 2015; Roesch et al., 2015; Rösch et al., 2012) bedingt und welche *Einflussgrößen* mehr oder weniger stark eine Einschränkung des Performanzzuwachses bei den untersuchten domänenübergreifenden experimentellen Kompetenzen bewirkt haben? Trotz der eben beschriebenen Schwierigkeiten einer eindeutigen Interpretation kommen auf der Basis lernpsychologischer und fachdidaktischer Theorien und beim Vergleich mit den Befunden anderer Wirkungsstudien wie denen von Ehmer (2008), Hof (2011) sowie Ganser und Hammann (2009 b) verschiedene Einflussgrößen in Betracht, die in besonderem Maße eine Rolle gespielt haben könnten:

- (a) *begrenzt kognitives Leistungsvermögen* (in Zusammenhang mit den kognitiven Gründen der Schulartzugehörigkeit¹¹⁰ sowie mit dem kognitiven Entwicklungsstand der Kohorte¹¹¹; s. Abschnitte 4.5 und 4.7.1.1; vgl. auch Baumert, Lehmann et al., 1997, S. 25, 137 ff.; Baumert et al., 2001, S. 238 ff.; Hammann & Prenzel, 2008, S. 72; Klieme et al., 2010, S. 189; Prenzel et al., 2007a, S. 17; Schulz, Prinz & Wirtz, 2012, S. 346 ff.; Schneider et al., 1998);

¹¹⁰ Bei PISA 2009 betrug der mittlere Unterschied zwischen Gymnasium und Realschule mehr als eine Kompetenzstufe (vgl. Klieme et al., 2010, S. 189). Bei PISA 2000 wurde eine Effektstärke beim Mittelwertvergleich von Cohens $d = 1.04$ zwischen Realschule und Gymnasium beobachtet (vgl. Baumert et al., 2001, S. 241) – also ein sehr starker Effekt.

¹¹¹ Dies hätte eine Aptitude-Treatment-Interaktion zur Folge (vgl. Rost, 2007, S. 44, 102).

- (b) *kognitive Belastung* durch den *anspruchsvollen Lernkontext* (s. Abschnitt 4.8.6.6) und die erhöhte *Offenheit beim Experimentieren* (s. Abschnitt 4.9.7.7; vgl. Hildebrandt & Bayrhuber, 2008, S. 15 f.; Prenzel, Demuth, Euler et al., 2008, S. 21; Rösch et al., 2012, S. 196; Unterbruner, 2007, S. 155 f.);
- (c) *eingeschränkte Dauer* und *begrenzte Übungsangebote des Treatments* im Vergleich mit manchen anderen Studien wie der von Neber und Anton (2008 b) (vgl. Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002, S. 574; Langlet & Asselborn, 2001, S. XI; Weitzel, 2012a, S. 75);
- (d) *Komplexität der Domäne* (s. Abschnitt 6.1.3; vgl. auch Hedewig, 1990; Moisl, 1988; Smith & Smith, 2009);
- (e) *begrenzte Domänenwissen* zu diesem Zeitpunkt (s. Abschnitte 3.3.2.2 und 6.1.4; vgl. Hammann et al., 2007, S. 47; MKJS; 2004, S. 10 ff.) sowie
- (f) relativ große zeitliche *Stabilität unangemessener Präkonzepte und Fehlstrategien* trotz Intervention (vgl. Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002, S. 574; Krüger, 2007, S. 88; Vorholzer, 2016, S. 100) bei der untersuchten Stichprobe (im Vergleich zu anderen Studien).

Unter Umständen forderte die Kombination von komplexer Domäne und anspruchsvollem BNE-Kontext die Lernenden in der Orientierungsstufe angesichts des kognitiven Entwicklungsstandes, begrenzten Domänenwissens und mittlerer Leistungsstärke der Probanden an Realschulen (vgl. Abschnitt 4.5) zu sehr heraus. Doch was kann man schließlich angesichts der begrenzten Interpretationsmöglichkeiten (s. o.) für die Schulpraxis i. A. schlussfolgern? Van Vorst et al. (2015, S. 33) fordern, „dass die Komplexität authentischer Aufgaben im Unterricht an die Lerngruppe angepasst sein muss, um eine mögliche Überforderung der Schülerinnen und Schüler zu vermeiden“. Dies spräche recht allgemein formuliert dafür, anspruchsvollere Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit wie das *Verständnis für die Bedeutung der Beobachtungsdauer und Stichprobengröße* erst in höheren Klassenstufen und dort zum einen für sich gesondert sowie in einem lediglich niederschwellig rahmenden, kognitiv nicht allzu sehr belastenden Kontext zu erarbeiten (s. auch Abschnitt 7.5.3).

Ein weiterer, ganz anders gearteter Erklärungsansatz ist zu diskutieren: In der Hauptstudie (vgl. Roesch et al., 2015, S. 590; Rösch et al., 2012, S. 192) zeigte sich bei verschiedenen Subskalen des Leistungstests, dass die Reliabilität – in Form der internen Konsistenz dieser Skalen – eher unbefriedigend ausgeprägt war¹¹². Dies könnte sich auf die Stärke der statistischen Tests ausgewirkt haben: Unter Umständen wären bei reliableren Messinstrumenten

¹¹² Erst im Nachhinein wurde festgestellt, dass im von den Probanden bearbeiteten Leistungstest zur experimentellen Problemlösefähigkeit versehentlich eine frühere Version der Subskala "Ansätze vergleichen" verwendet wurde, bei der ein Item (Nr. 10; s. Abschnitt 9.2.3.2) noch nicht verbessert und ausgetauscht worden war. Dieses

mehr (signifikante) Unterschiede und Zusammenhänge nachweisbar gewesen (vgl. Wirtz & Caspar, 2002, S. 16 f.). Hier zeigt sich die Bedeutsamkeit, in der fachdidaktischen Forschung die Entwicklung und Erprobung von Diagnose- und Evaluationsverfahren sowie die empirische Prüfung von Kompetenzmodellen an größeren Stichproben mit größerer Varianz voranzutreiben (vgl. Spörhase, 2012 a, S. 14).

In den folgenden Abschnitten wird differenzierter angedacht, inwiefern sich die soeben benannten Faktoren per se bzw. in Interaktion mit anderen unabhängigen Variablen mutmaßlich auf die Effektstärke der Förderung der betrachteten Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit ausgewirkt haben könnten.

7.3 Domänen zur Förderung von Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit

7.3.1 Erweiterte Diskussion

Im Rahmen der Interventionsstudie sollte u. a. die Eignung der Domäne *Ökologie* für die Einführung und Förderung verschiedener experimenteller Kompetenzen untersucht werden. Diese Frage soll nun differenziert geklärt werden, beginnend mit der Performanzentwicklung im Vergleich der Treatmentgruppe EXP mit den Kontrollgruppen:

Grundsätzlich ist ein unmittelbarer Einfluss der hochkomplexen Domäne (*Wald-)*Ökologie auf die *kognitive Belastung* und folglich auf die experimentelle Performanz anzunehmen, wie verschiedene Studien zu unterschiedlichen Auswirkungen spezifischer Domänen auf die experimentelle Problemlöseperformanz nahelegen (s. Forschungsfrage F-1, Abschnitt 6.1.7, Tab. 6-1; vgl. Gößling, 2010, S. 126; Nehring, Nowak, Upmeier zu Belzen & Tiemann, 2012, S. 257 f.; Nehring, Nowak, Upmeier zu Belzen & Tiemann, 2015). Jedoch ist eine exakte Aussage über den Anteil dieses Faktors auf die Entwicklung der abhängigen Variablen nicht möglich (s. Abschnitt 7.2).

Bei der Entwicklung der Treatmenteinheit zum Forschenden Lernen unter besonderer Berücksichtigung experimenteller Problemlösefähigkeit in der Domäne *Waldökologie* für die Experimentalgruppe EXP war allerdings ein anderer bedenkenswerter Aspekt viel offensichtlicher zu

konnte nicht korrekt bearbeitet werden. Vermutlich wurden dadurch nicht nur die interne Konsistenz der Subskala sowie die inferenzstatistische Hypothesenprüfung bezüglich dieser wissenschaftsmethodischen Kompetenz negativ beeinflusst, sondern wurden auch die Versuchspersonen verunsichert, was sich auf das Antwortverhalten in den nachfolgenden Items sowie die Motivation während der Bearbeitung ausgewirkt haben könnte.

erkennen, der erst in zweiter Linie das Lernen selbst betrifft, zunächst jedoch bereits die Planung des Lehr-Lernprozesses tangiert: Es war äußerst herausfordernd, ökologische Experimente zu finden, die sich sowohl inhaltlich, als auch bezüglich des Vorwissens, der kognitiven Entwicklung und der allgemeinen kognitiven Leistungsfähigkeit der untersuchten Stichprobe im Rahmen der spezifischen Lernumgebung zur Einführung experimenteller Kompetenzen eignen. Wie in Abschnitt 6.1.3 ausgeführt weisen Kausalbeziehungen in der Ökologie solch hohe Komplexität auf, so dass es vergleichsweise wenige ökologische Experimente gibt, bei denen domänenübergreifende experimentelle Prinzipien und Strategien im Zusammenhang mit interner Validität leicht verständlich erarbeitet werden könn(t)en. Auch die Interpretation von Messungen und Beobachtungen sowie die Schlussfolgerungen aus empirischer Evidenz sind zu Beginn in weniger komplexen Systemen bzw. Domänen leichter zu erlernen und einzuüben (vgl. Moisl, 1988, s. Tab. 4-10). Viele Experimente aus der Ökologie sind darüber hinaus entweder mit einem hohen Aufwand verbunden oder setzen bereits verschiedene allgemeine Experimentier-Kompetenzen und v. a. ein bestimmtes Maß an Domänenwissen voraus. Überdies sind sie infolge zahlreicher Störgrößen sehr komplex zu handhaben (vgl. Hedewig, 1990; Naguib, 2006; Smith & Smith, 2009; Sommer, 2005, S. 8 ff.). Dies hatte im Treatment EXP zur Konsequenz, dass die Lernenden in den ersten Stunden anhand *nicht*-ökologischer Experimente¹¹³ zentrale methodische und strategische Aspekte¹¹⁴ dieser Erkenntnisgewinnungsmethode kennen lernten. Dies war angesichts des Lernkontextes, der einen einheitlichen roten Faden konstituieren sollte, suboptimal. Nun mussten Bezugspunkte im übertragenen Sinn an den Haaren herbeigezogen werden. Im Rahmen der Interventionsstudie zeigte sich somit, dass die Domäne *Ökologie* in unterschiedlicher Hinsicht nicht sonderlich gut zur Einführung grundlegender Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit im Rahmen eines Spiralcurriculums geeignet ist:

Erst nach Untersuchungen in weniger komplexen abiotischen Systemen wurden die Lernenden im Treatment EXP in einem nächsten Schritt an Experimente mit Lebewesen herangeführt: beim Ansetzen der Langzeit-Experimente mit keimenden und wachsenden Pflanzen sowie mit Experimenten zur Habitatwahl bei Asseln (s. Abschnitte 6.3.3.4 und 6.3.3.5). Die Lernenden wären zu Beginn mit Sicherheit überfordert (vgl. Moisl, 1988, S. 6), würde man verhaltensbiologische Experimente oder solche mit schlecht beschreibbaren bzw. erfassbaren Größen in der Ökologie einsetzen, um die Grundlagen des Experimentierens kennen zu lernen.

¹¹³ Diese betrafen Phänomene aus der Mechanik (Pendelschwingung, Auftrieb in Flüssigkeiten).

¹¹⁴ Hypothetisch-deduktives Verfahren mit möglicher Schrittfolge beim Experimentieren, Kontroll-Ansatz, Variablenkontrolle, Formulierung epistemischer Fragen und Hypothesengenerierung.

Die Behauptung in Roesch et al. (2015, S. 594), der Zeitpunkt der Förderung des Verständnisses für die Notwendigkeit längerer Beobachtungsdauern in komplexen biologischen Systemen sei zu früh (s. Forschungsfrage F-7, Abschnitt 6.1.7, Tab. 6-1), erscheint rückblickend allerdings als zu voreilig und pauschalisierend. Eine solche Aussage gilt es angesichts der höheren Performanz von Lernenden des SYS-Treatments (vgl. Rösch, 2015, S. 18) zu relativieren: Die Ergebnisse geben Anlass, zumindest anzunehmen, dass die Förderung dieser Komponente experimenteller Problemlösefähigkeit unter Einbezug systemischen Denkens in gewissem Maß möglich sein könnte¹¹⁵. Angesichts des erst im weiteren Verlauf der Sekundarstufe I und ggf. II vertieften Domänenwissens zu ökologischen Themen und des anspruchsvollen Verständnisses der Bedeutung der Stichprobengröße (vgl. Rösch, 2015, S. 17) erscheint es jedoch geboten, die anspruchsvolleren stärker domänenbezogenen Kompetenzen bei der Gestaltung von Spiralcurricula zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit erst zu einem späteren Zeitpunkt in den Blick zu nehmen (s. Abschnitt 7.6.3).

7.3.2 Schulpraktische Implikationen

Ein erklärtes Ziel des Forschungsprojekts des Verfassers war in Verbindung mit der Wirkungsstudie, Antworten auf die Frage zu finden, ob sich die Domäne *Ökologie* zur *Einführung* experimenteller Kompetenzen eignet. Im Rahmen des noch gültigen Bildungsplanes von 2004 (MKJS, 2004) obliegt es den Lehrkräften, prozessbezogene Bildungsstandards und Fachinhalte einander zuzuordnen. Was die Domäne *Ökologie* und experimentelles Arbeiten betrifft, gab es bislang lediglich theoretisch begründete und konzeptionelle Argumentationen (z. B. bei Hedewig, 1990). Die vorliegende Arbeit sowie die referierten Einzelbeiträge des Verfassers bringen – in begrenztem Maß – etwas Licht zu manchen Teilaspekten dieser Frage.

Es erscheint plausibel, dass in einer solch komplexen Domäne wie *Ökologie* – zumal wenn sich Lernende erstmals als „Novizen“ damit befassen und langsam grundlegendes Domänenwissen aufgebaut wird – intensivere instruktionale Unterstützung notwendig wäre, um die systematische Anwendung der kennengelernten experimentellen Strategien zu erleichtern (vgl. Stark et al., 1995, S. 295, 304 f.). Das bedeutet, dass es zu ambitioniert ist, zu einem solch frühen Zeitpunkt in der *Cognitive Apprenticeship*-Phasenfolge weit voranzuschreiten, und nicht ratsam ist, die Experimentalaufgaben *zu weit* zu öffnen (vgl. Priemer, 2011). Viele Gründe sprechen somit dafür, die Einführung einer (besonders komplexen) neuen Domäne und einer anspruchsvollen Erkenntnismethode wie dem Experimentieren nicht gleichzeitig

¹¹⁵ vorausgesetzt, das Messinstrument ist ausreichend valide und reliabel und der hier *ex post* festgestellte Unterschied ließe sich in weiteren Studien im Rahmen einer Hypothesenprüfung bestätigen.

als Unterrichtsziele zu verfolgen (vgl. Abschnitt 6.1.4), wenn gleichzeitig auch tendiert wird, dass die Lernenden am Ende der Unterrichtseinheit möglichst eigenständig experimentieren können sollen. Abschnitt 7.10 führt diese Überlegung weiter.

Die Ökologie fokussiert zudem hochkomplexe lebende Systeme, die zahlreiche Charakteristika aufweisen, für deren experimentelle Untersuchung spezielle wissenschaftsmethodische und -methodologische Fähigkeiten erforderlich sind (vgl. Moisl, 1988, S. 6; Smith & Smith, 2009; Sommer, 2005, S. 8 ff., s. Abschnitt 6.1.3). Diese wiederum sind vermutlich kognitiv anspruchsvoller als andere experimentelle Kompetenzen. Somit macht die unterrichtliche Auseinandersetzung mit dieser Domäne im Hinblick auf eine effiziente Förderung erst im späteren Verlauf der kognitiven Entwicklung mehr Sinn. Als eine besonders anspruchsvolle biologische Teildisziplin stellt die Domäne *Ökologie* Experimentatoren vor große Herausforderungen: Das Verständnis und die Erklärung von z. T. emergenten Phänomenen erfordern Kenntnisse über diverse biologische Systemebenen und Eigenschaften komplexer Systeme, die erst im Lauf der Schulzeit innerhalb der Sekundarstufen I und II erworben werden. In der Orientierungsstufe besitzen Lernende jedoch nur sehr begrenztes, u. U. nicht ausreichendes domänenspezifisches Vorwissen.

Zusammengefasst bedeuten die vorausgehenden Überlegungen sowie die Ausführungen in Rösch (2015) einerseits, dass Experimentalunterricht in der Domäne *Ökologie* zwar sehr große Chancen aufweist, um wissenschaftstheoretische Reflexion (z. B. zu Grenzen der Aussagekraft von Experimenten und eingeschränkter Kausalität in hochkomplexen Systemen) zu betreiben sowie domänenspezifischere Kompetenzen wie Fähigkeiten bezüglich der externen und ökologischen Validität sowie methodologische Charakteristika ökologischer Experimente zu thematisieren. Andererseits eignet sich diese Domäne kaum, den Grundstein für den Aufbau experimenteller Problemlösefähigkeit zu legen. Im Rahmen eines Spiralcurriculums bietet sich diese besonders anspruchsvolle Domäne (vgl. Hedewig, 1990; Mayer & Ziemek, 2006; Moisl, 1988) ergo für spätere Zeitpunkte an, wenn auf eine bereits bestehende Grundlage domänenübergreifender experimenteller Kompetenzen aufgebaut werden kann und soll.

7.3.3 Ausblick

Die Überlegungen sind zu einem gewissen Grad hypothetischer Natur (vgl. Gedanken in Abschnitt 7.2). Folglich müssten weiterführende Studien u. a. zeigen, inwiefern die Domäne *Ökologie* an sich für kognitive Belastung sorgt, oder ob diese hingegen mehr aus dem anspruchsvollen BNE-Kontext resultiert oder einen Interaktionseffekt dieser beiden (und ggf.

weiterer) Faktoren darstellt (vgl. Rieß, 2012, S. 159). Unklar ist, wie leistungsstärkere Lernende auf dem gymnasialen „Erweiterten Niveau“ (vgl. MKJS, 2016) mit den konkreten Herausforderungen des in den Abschnitten 6.3.3.4 und 9.2.2 vorgestellten Treatments (s. auch Rösch, 2010 a und b) zurechtkommen würden. Insofern bieten sich Designs an, die den Vergleich der Performanz(entwicklung) von Probanden unterschiedlicher Schularten gestattet.

7.4 Domänenwissen als eine zentrale Lernvoraussetzung bestimmter Kompetenzen

Nachdem in Unterkapitel 7.3 die Eignung von Domänen, speziell von *Ökologie*, für die Förderung von experimenteller Problemlösefähigkeit betrachtet worden ist, widmet sich dieses Unterkapitel 7.4 der Bedeutung von Vorwissen in jeglicher Domäne für erfolgreiches experimentelles Problemlösen, das auf der Ebene der Lernvoraussetzungen anzusiedeln ist (vgl. Abb. 4-1). Am Beispiel der in der eigenen Interventionsstudie verwendeten Domäne *Ökologie* wird anhand der Befunde exemplarisch aufgezeigt, an welchen Stellen Domänenwissen von Erkenntnisgewinnungsprozessen nachweislich bedeutsam ist und welche Schlussfolgerungen sich daraus für die Schulpraxis ableiten lassen.

Im Abschnitt 3.3.2.1 wurde die Relevanz domänenspezifischer fachinhaltlicher Kenntnisse für experimentelle Problemlöseprozesse bereits ausführlich dargestellt (vgl. auch Hammann et al., 2007, S. 47; Schreiber, 2012, S. 116). Mayer und Ziemek (2006, S. 10) sehen begrenztes Domänenwissen explizit als eine offenes Experimentieren limitierende Lernvoraussetzung an. Sie begründen dies im Hinblick auf die Hypothesengenerierung und die angemessene Deutung von Befunden. Hinzufügen lässt sich Argument, dass Wissen um die besondere Komplexität ökologischer Systeme nicht nur die Interpretation oder Beurteilung experimenteller Befunde bezüglich Validität und Reliabilität, sondern auch die methodologische Herangehensweise beim Experimentieren selbst begünstigen kann (vgl. Arnold et al., 2013). Nun gilt es zu klären, welche Beiträge die Ergebnisse des eigenen Forschungsprojektes zur Bedeutung des Domänenwissens für die Weiterentwicklung von Unterricht leisten können.

7.4.1 Zusammenfassung der Befunde

Wie in Rösch et al. (2012, S. 196) berichtet, konnte in der Interventionsstudie beobachtet werden, dass ein grundlegendes Domänenwissen in Ökologie den Probanden in den Experimentalbedingungen EXP und KG_{Öko} bei einem schwachen bis mittleren Effekt besser die

Suche im Hypothesenraum (vgl. Klahr, 2000) ermöglicht: Die Versuchspersonen mit höherem Domänenwissen nahmen im Anschluss an die Intervention mehr potentielle unabhängige Variablen in den Blick als solche mit geringerem Domänenwissen in der Kontrollgruppe KG₀. Diese Fähigkeit bzw. Kenntnisse sind eine notwendige Voraussetzung, um mehr Störgrößen zu erkennen und bei der Falsifikation einer Hypothese diese zu revidieren und ggf. neue Testgrößen zu prüfen. Dieser Befund bestätigt den aktuellen Erkenntnisstand der Problemlöse- und fachdidaktischen Forschung zum Experimentieren (vgl. Abschnitte 3.3.1 und 3.3.2).

7.4.2 Erweiterte Diskussion

Allerdings ist Domänenwissen wie bereits angesprochen noch kein hinreichender Garant, dass jemand auch bessere Performanz beim experimentellen Problemlösen insgesamt oder in einer bestimmten Phase zeigt. In der Studie von Hammann et al. (2007, S. 46) unterschieden sich die Korrelationskoeffizienten von domänenspezifischem Wissen mit der jeweiligen Performanz der Dimensionen *Suche im Hypothesenraum*, *Evidenzen analysieren* und *Hypothesen testen* zwar kaum ($r_i \in] .36; .38[$; $1 \leq i \leq 3$), was suggerieren könnte, die jeweilige Bedeutung des Domänenwissens dafür sei vergleichbar groß. Allerdings sprechen die mittleren bis hohen Korrelationen zwischen diesen postulierten Dimensionen ($r_j \in] .64; .78[$; $1 \leq j \leq 3$) auch dafür, dass die Operationalisierung dieser Teilkonstrukte suboptimal umgesetzt wurde. Denn die statistischen Kennwerte sprechen nicht (deutlich) für deren diskriminante Validität (vgl. auch ebd., S. 44 f.). Das Itemformat (Simple Multiple-Choice) und die zur Lösung erforderliche kognitiv sehr ähnliche Aktion des Selegierens einer vorgegebenen Lösung¹¹⁶ erklären den hohen korrelativen Zusammenhang als eine Art ‚Operationalisierungsartefakt‘, der beim echten Experimentieren und anderen Operationalisierungen so sicher nicht auftreten würde. Wie bereits in den Abschnitten 3.3.2 und 4.9.7.4 dargelegt, spielen beim erfolgreichen selbstständigen Experimentieren eine Reihe weiterer prozessbezogener sowie Personen-Variablen mit (vgl. auch Mayer et al., 2008, S. 65 ff.), die nicht nur die Variablen-Kontroll-Strategie betreffen.

7.4.3 Schulpraktische Implikationen

Wie im Treatment EXP der Interventionsstudie umgesetzt (vgl. Abb. 6-3 und Tab. 6-2) sprechen die Erkenntnisse diverser Studien (darunter auch der des Verfassers) für den Aufbau einer *domänenspezifischen Wissensbasis*, um Forschendes Lernen gemäß den Phasen des

¹¹⁶ wobei für die Identifikation der korrekten Antwort stets nur das Verständnis für die Variablenkontrolle und die Notwendigkeit eines Kontrollansatzes im Zusammenhang mit der Prüfung einer Kausalhypothese notwendig ist.

Cognitive Apprenticeship-Ansatzes optimal zu gestalten: Domänenkenntnisse über Spezifika der experimentell untersuchten Systeme helfen den Lernenden nicht nur bei der Problemanalyse, der Generierung von Forschungsfragen und der Suche im Hypothesenraum, sondern erleichtern überdies die Interpretation der experimentell gewonnenen Evidenz sowie die Verortung und Verknüpfung der gefundenen Erkenntnisse innerhalb der bereits bestehenden Wissensstruktur sowie ggf. auch deren Modifikation bei wiederholter Falsifikation von Hypothesen und der Notwendigkeit zu deren Revision bzw. Ablehnung. Da im Lauf der Sekundarstufe ökologisches Domänenwissen im Rahmen eines Spiralcurriculums immer weiter vertieft wird, bietet es sich an, anspruchsvollere ökologische Experimente erst in höheren Klassenstufen einzusetzen – zumal umfangreicheres Domänenwissen den Transfer in anderen Kontexten bzw. Subdomänen begünstigt (vgl. Seybold, Frischknecht-Tobler & Nagel, 2008, S. 150 f.).

7.4.4 Ausblick

Wie in Abschnitt 7.7.2 weiter ausgeführt wird, würde es sich lohnen zu analysieren, in welchem Maß rein deklaratives Wissen oder aber dynamisches systemisches Denken in den betrachteten Systemen bzw. diese beiden unabhängigen Variablen in Kombination dabei helfen bestimmte experimentelle Kompetenzen bestmöglich aufzubauen bzw. anzuwenden. Dazu gehören u. a. die Suche im Hypothesenraum, die adäquate methodologische Planung und Durchführung von Experimenten in der Domäne (vgl. Arnold et al., 2013, S. 9 ff., 12) sowie die Interpretation von Befunden und die Einschätzung verschiedener Validitätskriterien.

7.5 Kontextbasiertes Forschendes Lernen – Vorteile und Risiken für das Lernen

7.5.1 Chancen des stark kontextorientierten Treatments

Mit Blick auf Forschungsfrage F-9 (s. Abschnitt 6.1.7, Tab. 6-1) sollte geklärt werden, welche positiven Auswirkungen aus dem starken Kontextbezug des EXP-Treatments resultieren. Die situative Motivation konnte während der Intervention in den verschiedenen Experimentalbedingungen bedauerlicherweise nicht erhoben werden. Allerdings wurden die Versuchspersonen mit dem Treatment EXP am Ende des zweiten Aufenthaltes am Naturschutzzentrum zumindest mittels eines Fragebogens – der „Umfrage (Naturschutzzentrum)“ (s. Abb. 6-1) – zu verschiedenen Sachverhalten in Zusammenhang mit dem Unterricht vor der Treatment und dem Treatment selbst befragt, darunter auch zu Einstellungsänderungen. Mithilfe einer fünfstufigen bipolaren Rating-Skala (von 1 = „sehr verschlechtert“ bis 5 = „sehr verbessert“) sollten

die Probanden beurteilen, ob (und ggf. wie) sich das Treatment hinsichtlich bestimmter Aspekte auf ihre Einstellungen und ihr Interesse zum Unterricht auswirkte oder nicht. Eines der Items lautete: „Etwas über die Arbeit der Naturwissenschaftler zu erfahren, hat meine Meinung zum naturwissenschaftlichen Unterricht und mein Interesse daran ...“.

Das Ergebnis spricht dafür, dass der starke Kontextbezug und die Perspektive, als ‚Nachwuchsforschende‘ auch selber in konkreten Alltagssituationen für damit verbundene Urteile, Entscheidungen und Handlungen relevante naturwissenschaftliche Erkenntnisse zu gewinnen, das Interesse der befragten Lernenden ($n = 122$) in hohem Maß gesteigert hat: $t(121) = 9.12, p < .001$ (t -Test mit einer Stichprobe¹¹⁷, Testwert: 3 = „nicht verändert“; vgl. Bortz & Schuster, 2010, S. 118 f.; Bühl, 2010, S. 343 f.). Die Effektstärke von $r = .64$ bzw. $|d| = 0.82$ zeigt, dass es sich um einen sehr großen Effekt handelt (vgl. Field, 2009, S. 332 bzw. Wirtz & Nachtigall, 2008, S. 92). Im Freitext-Item „Das hat mir in den letzten Wochen besonders gefallen“ haben 76 bzw. 15 von 123 Probanden „[Eigene] (Modell-) Experimente“ bzw. „Forschen“¹¹⁸ angegeben; dieses Positivum der Lernumgebung wurde noch weitaus häufiger angegeben als die Aspekte „Besuch des Naturschutzzentrums“ (29 von 123 Versuchspersonen) und „Lernaktivitäten am außerschulischen Lernort Wald“ (27 von 127 Versuchspersonen). Dieser Befund bestätigt die Beobachtungen, die in vielen Unterrichtskonzepten mit Kontextorientierung gemacht werden konnten (vgl. Abschnitt 4.9.6.3). Dank der Kontexteinbettung kann somit ein wichtiger Beitrag zur *Scientific Literacy* geleistet werden: nämlich Offenheit und Wertschätzung gegenüber den Naturwissenschaften per se (vgl. Hammann, 2006 b, S. 131, 139), was sich auch in den unmittelbar damit verbundenen Lehr-Lernprozessen auf die Lernmotivation zumindest nicht negativ ausgewirkt haben dürfte.

Im Folgenden wird darüber nachgedacht, ob neben diesem positiven Effekt auch nachteilige Auswirkungen des starken Kontextbezugs des EXP-Treatments eingetreten sein könnten, die auf der *Zielebene* der Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit verortet sind.

7.5.2 Erweiterte Diskussion

Das den Treatments EXP und SYS zugrundeliegende Unterrichtskonzept orientierte sich an den moderat konstruktivistischen Ansätzen problemorientierten (vgl. Mietzel, 2007, S. 316 ff.), kontextbasierten Lernens und realisierte anspruchsvolle Lehr-Lernprozesse, die im Sinn einer

¹¹⁷ Es wird von einer Quasiintervallskalierung der Ratingskala ausgegangen und gemäß des *Per-fiat*-Prinzips gemessen (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 70).

¹¹⁸ dabei handelt es sich um eine Paraphrasierung für verschiedene stark sinnverwandte Nennungen, die den Kategoriennamen darstellt

Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE) nicht nur Forschendes Lernen ermöglichen, sondern auch die Kompetenzbereiche *Kommunikation* und *Bewertung* miteinbezogen (s. Forschungsfragen F-2 und F-9, Abschnitt 6.1.7, Tab. 6-1; vgl. Parchmann, 2009; s. Abschnitt 4.9.6.4). Dies hat zur Folge, dass sich die nun anschließenden Ausführungen im Mehrebenenanalytischen Rahmenmodell (Rieß, 2012) nicht ausschließlich auf die *Ebene der Unterrichtsprozesse* (i. S. der Kontextgestaltung), sondern darüber hinaus auf die *Ebene der Zielkriterien* beziehen. Mit Blick auf die Treatments EXP und SYS bedeutet dies konkret, dass der anspruchsvoll gestaltete BNE-Kontext die multiplen Zielsetzungen in den vier Kompetenzbereichen widerspiegelt.

Angesichts der Erkenntnisse anderer Studien (z. B. Nehring, Nowak, Upmeyer zu Belzen & Tiemann, 2015) erscheint es naheliegend anzunehmen, dass der *anspruchsvolle Lernkontext* zu viel *externe kognitive Belastung* ausgelöst haben mag, was sich negativ auf den Kompetenzerwerb im Bereich *Erkenntnisgewinnung* auswirken würde: Die Schülerinnen und Schüler lernten nicht alleine die Erkenntnismethode des Experimentierens kennen (als epistemologischen Heurismus samt NOS-Aspekten, wissenschaftsmethodischen Strategien und epistemologischen Prinzipien), sondern beschäftigten sich darüber hinaus i. S. Forschenden Lernens mit fachlichen ökologischen Konzepten und Grundsätzen. Hinzu kam aber auch noch die Erarbeitung von Möglichkeiten der nachhaltigen Entwicklung in einer touristisch genutzten Region. Dabei bewegten sich die Lernenden in sämtlichen vier Kompetenzbereichen – *Erkenntnisgewinnung, Fachwissen, Bewertung* und *Kommunikation*. Es ist vor diesem Hintergrund zu vermuten, dass eine alleinige Konzentration auf die beiden Kompetenzbereiche *Erkenntnisgewinnung* und *Fachwissen* und eine weniger intensive Einbettung in einen authentischen Kontext durch eine Reduktion der kognitiven Belastung größere Lerneffekte ermöglicht hätten. So betonen beispielsweise Dittmer et al. (2016, S. 100 f., 104, 106), dass und inwiefern Prozesse im Kompetenzbereich *Bewertung* hohe kognitive Anforderungen stellen bzw. die daraus resultierende kognitive Belastung an anderer Stelle Lerneffekte reduziert.

Im Gegensatz zu manchen anderen unterrichtlichen Konzepten (z. B. Ehmer, 2008; Hameyer & Streng, 1986) zur Förderung experimenteller Kompetenzen wurde beim Treatment EXP im Rahmen Forschenden Lernens ein möglichst ausgeglichenes Verhältnis der Auseinandersetzung mit fachlich relevanten Inhalten und der experimentellen Methode angestrebt. Daraus resultierte, dass für das Kennenlernen und Einüben von Komponenten der experimentellen Problemlösefähigkeit nur begrenzt Zeit blieb, schließlich stellten die ökologischen Aspekte kein bloßes kontextuelles Beiwerk dar. Vor dem Hintergrund der Unterrichtsforschung ist zu erwarten, dass die Lerneffekte im Bereich der experimentellen Problemlösefähigkeit nicht allzu groß ausfallen können, da die *aktive Lernzeit* dafür eingeschränkt ist. Diesem Faktor wird eine

Schlüsselrolle bei der Leistungssteigerung zugeschrieben (vgl. Helmke, 2009, S. 80 f., 174, 177; Meyer, 2008, S. 39 ff.). Wie viele der Lehrkräfte der EXP-Gruppe rückmeldeten, wäre für die Beschäftigung mit den anspruchsvollen Strategien beim Experimentieren – gerade bei leistungsschwächeren Schülern – z. T. mehr Zeit sinnvoll (bzw. angesichts der Verhältnisse in den konkreten Klassen auch nötig) gewesen. Angesichts dessen, dass allein der Auf- und Abbau (ganz zu schweigen von der Durchführung) der Realexperimente einen mehr oder weniger großen Teil der Stunden in Anspruch nahm, war die Gelegenheit für die Schüler begrenzt, sich intensiv mit prozeduralen Kompetenzen beim Experimentieren reflektiert auseinanderzusetzen und die Strategien in Ruhe zu wiederholen. Weitere Gründe für eingeschränkte *time on task* waren zum einen der Sachverhalt, dass in den ersten vier Stunden der Unterrichtseinheit auf die experimentelle Methode noch gar nicht eingegangen wurde (s. o.; Abschnitte 6.3.3.3, 6.3.3.4 und 9.2.2), zum anderen, dass aufgrund der Einbettung in komplexe Kontexte Zeit benötigt wurde, um die Rahmengeschichte und Subkontexte per se erst einmal kennen zu lernen.

7.5.3 Schulpraktische Implikationen in Bezug auf Kontexte und Zielkriterien

„Zu viele Ziele gleichzeitig zu erreichen gelingt auch mit Schülerexperimenten nicht.“
(Hopf, 2014, S. 53)

Würde sich die Vermutung bestätigen, dass die zahlreichen Zielsetzungen und die entsprechend große Betonung des BNE-Kontextes den Lernerfolg im Bereich experimenteller Problemlösefähigkeit geschmälert haben, so würde dies für die unterrichtliche Praxis bedeuten, dass die kontextuelle Einbettung von Lehr-Lernprozessen nicht automatisch mindestens gleich effektiv ist bezüglich verschiedener unterrichtlicher Zielsetzungen (vgl. Parchmann et al., 2006; Sadler, 2004) wie relativ kontextarme oder -freie Lehr-Lern-Settings. Das heißt, dass fachdidaktische Empfehlungen zur Kontextorientierung von Lernumgebungen, wie sie beispielsweise Parchmann (2009) ausspricht, vorsichtiger und differenzierter zu formulieren sind: Kontextbasiertes Lernen ist angesichts zahlreicher – unter bestimmten Voraussetzungen – positiver Effekte auf den Lehr-Lernprozess nicht per se förderlich bzw. zumindest unproblematisch. Es muss vielmehr gewährleistet sein, dass die Kontextualisierung keine zu große kognitive Belastung verursacht, welche die eigentlich intendierte Lernwirkung mindern würde (vgl. Stark et al., 1995, S. 306). Auch Hopf (2007, S. 232) kommt im Rahmen seiner Interventionsstudie in Physik zu folgender Erkenntnis: „Selbst das Einbeziehen verschiedenster Forderungen an erfolgreiche Schülerexperimente wie Offenheit, Authentizität [, Problemorientierung] usw. führen immer noch nicht zu verbessertem Lernen oder positiveren Einstellungen

der Schülerinnen und Schüler [...]“.

Im Zusammenhang mit eigenständigen, forschungsähnlichen Schülerexperimenten ist es zudem ungemein wichtig, Handlungsregulation auf Seiten der Lernenden zusätzlich zu trainieren (vgl. Abschnitte 3.3.3 und 4.9.7.4) sowie der Wissensaktivierung, Elaboration und kritischem Überprüfen und Reflektieren ausreichend Zeit einzuräumen. Eine durch die Einbettung in einen sinnstiftenden authentischen Kontext gesteigerte Motivation allein ist also kein Garant für effektiveres Lernen.

Es ist ergo bedeutsam, Anzahl und Anforderungsgrad von Unterrichtszielen zugunsten weniger Schwerpunkte einzugrenzen (vgl. Lunetta et al., 2007, S. 400) und nicht eine zeitgleiche effektive Förderung von zahlreichen methodischen, epistemologischen *und* fachlich-deklarativen Kompetenzen anzustreben bzw. zu erhoffen (vgl. von Aufschnaiter & Riemeier, 2005 a, S. 10; Meier & Mayer, 2014; Sadler, 2011). Insofern ist zu bedenken, in welchem Kompetenzbereich ausgewählte *Zielsetzungen* liegen und Prioritäten zu setzen, wie die folgenden Zitate von Renkl (2014) allgemein bzw. von Lunetta et al. (2007) spezifisch für Experimentalunterricht auf den Punkt bringen:

„Es geht [...] nicht darum möglichst viele Anregungen zur aktiven Verarbeitung zu geben, sondern die Lernenden auf das zu fokussieren, was ‚im Kern‘ gelernt werden sollte [...]. [...] die Verarbeitung [sollte] auf die zentralen Konzepte und Begriffe fokussiert werden [...]. Dieses Postulat ist vor allem darin begründet, dass die menschlichen Informationsverarbeitungsressourcen recht begrenzt sind. Deshalb sind Lernprozesse auch sehr störanfällig, wenn [...] Aufmerksamkeitsressourcen für nicht Zentrales verschwendet werden [...].“ (Renkl, 2014, S. 17)

„Sere [(2002)] reported that the objectives typically articulated for laboratory work (i.e., understanding theories, concepts, and laws; conducting various experiments, learning processes and approaches; and applying knowledge to new situations) were too numerous and comprehensive for teachers to address successfully in individual laboratory sessions. In response, she suggested that the scope of the objectives for specific laboratory activities should be limited. Science curriculum developers and science teachers should make conscious choices among specific learning objectives for specific laboratory activities and clearly articulate the specific objectives for their students.“ (Lunetta et al., 2007, S. 400)

Die bei Lunetta et al. (2007) wiedergegebenen Gedanken greift implizit auch Maiseyenko (2014) auf, die im Rahmen modellbasierter Unterrichtsgestaltung dafür plädiert, einen spezi-

fischen Fokus bei der Kompetenzförderung durch die entsprechend eingrenzende Gestaltung experimenteller Lernaktivitäten festzulegen (vgl. auch Hammann, 2004).

Auch Sadler (2011, S. 6) hebt hervor, dass multiple bzw. divergente Richtziele (vgl. Gropengießer et al., 2010, S. 66 f.) von Naturwissenschaftsunterricht i. d. R. nicht gleichzeitig effizient verfolgt und erreicht werden können. Daraus resultiert für ihn (Sadler, 2011) ganz i. S. von Renkl (2014) die Notwendigkeit, eine Entscheidung zugunsten ausgewählter Schwerpunkte zu treffen, während andere Intentionen in den Hintergrund rücken müssen. Derselben Meinung ist Langlet (2008, S. 39). Er weist darauf hin: „Weniger ist mehr. Der hohe Effektivitäts- und Nachhaltigkeitsanspruch des Kompetenzerwerbs nötigt zu einer Reduzierung [...]“.

Das betrifft nach Meinung des Verfassers auch die Komplexität des Lernkontexts und die Bedeutung, die jenem im Unterricht beigemessen wird. Übertragen auf die Kompetenzförderung bedeutet dies, dass entweder bestimmte Kenntnisse, Fähigkeiten oder Fertigkeiten in stärkerem Maße als andere trainiert werden, oder dass die Lehrkraft mehr oder weniger bewusst in Kauf nimmt, dass *keine* der im Unterricht anvisierten Kompetenzen so stark trainiert werden kann, wie wenn man eine engere Auswahl treffen würde. Hieraus ergibt sich, dass eine Lernumgebung, in der verschiedene Kompetenzbereiche simultan im Fokus stehen, vielleicht einerseits helfen kann, deren Vernetzung – etwa im Zusammenhang mit Nachhaltiger Entwicklung – bewusst zu machen und bis zu einem bestimmten Maß einzuüben. Eine solche didaktisch-methodische Setzung reduziert jedoch auf der anderen Seite komponentenspezifische Lerneffekte, was angesichts von aufgeteilter *time on task* und Aufmerksamkeit nicht überrascht. Wenn der anspruchsvolle BNE-Kontext weitere kognitive Belastung erzeugen sollte (wovon ausgegangen werden muss), so empfiehlt sich folglich ein kognitiv weniger anspruchsvoller Kontext zur Einführung der experimentellen Methode. Zu einem späteren Zeitpunkt könnte die durch Kontextorientierung bedingte kognitive Herausforderung erhöht werden – jedoch setzt dies nach Ansicht des Verfassers eine gewisse Routine in der Anwendung experimenteller Problemlösefähigkeit voraus, sodass hier mehr mentale Kapazität für den angemessenen Umgang mit Kontextinhalten zur Verfügung steht.

7.5.4 Ausblick

Es liegt auf der Hand, dass weiterführende Studien das konkrete Maß des aus dem BNE-Kontext resultierenden *cognitive load* analysieren sollten. Gegebenenfalls wäre es auch sinnvoll, die BNE-Thematik erst im Anschluss an den Forschenden Unterricht aufzunehmen und die experimentell gewonnenen Erkenntnisse nachfolgend damit in Verbindung zu bringen. Dabei würde sich der nachfolgende Unterricht schwerpunktmäßig den Kompetenzbereichen *Kommunikation* und *Bewertung* widmen. Auf diese Weise könnten durch Schaffung entspre-

chender Experimentalbedingungen *Reihenfolgeeffekte* auf die Performanzentwicklung bei den experimentellen Kompetenzen untersucht werden.

7.6 Kognitives und metakognitives Potenzial als Lernvoraussetzung

Neben dem Domänenwissen stellen kognitive und metakognitive Fähigkeiten eine wichtige Voraussetzung erfolgreichen experimentellen Problemlösens dar (vgl. Abschnitte 3.3.2, 3.3.3 und 4.7.1.1), auf welche dieser Abschnitt im Hinblick auf die Befunde der eigenen Interventionsstudie (Rösch, 2015; Roesch et al., 2015, Rösch et al., 2012) Bezug nimmt.

7.6.1 Zusammenfassung der Befunde

In der Interventionsstudie befassten sich die Lernenden der Treatmentgruppe EXP in einer kognitiv sehr anspruchsvollen Lernumgebung¹¹⁹ mit verschiedenen deklarativen Konzepten zur experimentellen Methode sowie mit prozeduralen wissenschaftsmethodischen Fähigkeiten, die erfolgreiches eigenständiges Experimentieren erfordert. Dabei spielten sowohl domänenübergreifende als auch domänenspezifische experimentelle Kompetenzen eine Rolle.

Die domänenübergreifenden Kompetenzen *Experimente planen*, *Epistemisches Fragen* und *Ansätze vergleichen* wurden durch das Treatment EXP geringfügig stärker gefördert als in der Kontrollgruppe (vgl. Rösch et al., 2012, S. 195; s. Forschungsfragen F-3 und F-7, Abschnitt 6.1.7, Tab. 6-1).

Bemerkenswert und insofern hervorzuheben ist, dass die wissenschaftsmethodische Fähigkeit, gute epistemische Forschungsfragen zu formulieren, nicht erst in Klassenstufe 10 im Gymnasium (Neber & Anton, 2008 a, b), sondern bereits in der 6. Klassenstufe an Realschulen gefördert werden kann (vgl. Rösch et al., 2012, S. 195). Dies ist nicht selbstverständlich, konnte doch im Treatment EXP des Verfassers dem Training dieser Kompetenz weniger *time on task* als bei Neber und Anton (2008 b) eingeräumt werden. Zudem war die vom Verfasser entwickelte Lernumgebung angesichts der multiplen Ziele, des anspruchsvollen Lernkontextes und der größeren Notwendigkeit zur Selbstregulation bei überdurchschnittlich offenen Schülerexperimenten mit besonders hoher kognitiver Belastung verbunden. Hieraus ist zu schließen, dass der Stand der kognitiven Entwicklung zumindest manchen Probanden in der 6. Klassenstufe ermöglicht, die Formulierungshilfen der Fragenstämme (vgl. Neber &

¹¹⁹ bezüglich folgender Kriterien: (a) Erarbeitung von Fachwissen zur komplexen Domäne Ökologie (vgl. Rösch, 2015, S. 5 f.), (b) herausfordernder multiperspektivischer BNE-Kontext (vgl. Rösch et al., 2012, S. 189 f.) sowie (c) überdurchschnittlich hoher Offenheitsgrad bei Schülerexperimenten (vgl. Roesch et al., 2015, S. 593).

Anton, 2008 a, b) bei der Generierung guter epistemischer Fragen erfolgreich zu nutzen¹²⁰ (s. Forschungsfrage F-3, Abschnitt 6.1.7, Tab. 6-1).

Die domänenaffine (jedoch nicht ausschließlich auf Ökologie begrenzte) Kompetenz *Verständnis für die Bedeutung der Beobachtungsdauer und Stichprobengröße für die externe Validität* wurde weder in der Treatmentgruppe EXP noch in der Treatmentgruppe SYS gegenüber der Kontrollgruppe KG_{Öko} gefördert (s. Forschungsfrage F-7, Abschnitt 6.1.7, Tab. 6-1). *Post hoc* zeigte sich allerdings, dass Probanden aus der Treatmentgruppe SYS stärker in der Performanz der theoretisch postulierbaren Subdimension *Verständnis für die Bedeutung der Beobachtungsdauer* gefördert wurden als andere Versuchspersonen.

7.6.2 Erweiterte Diskussion

In diesem Abschnitt ist zu diskutieren, ob und inwiefern die Befunde dafür sprechen, dass kognitive oder metakognitive Dispositionen der Probanden als Ursache für die geringen bzw. ausbleibenden Effekte gegebenenfalls in Frage kommen könnten.

Zunächst ist festzustellen, dass diverse Studien (z. B. Chen & Klahr, 1999; Ehmer, 2008; Grygier, 2008; Klahr & Nigam, 2004; Schneider et al., 1998) fanden, dass die Kohorte der 6.-Klässler bereits basale domänenübergreifende Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit nicht nur zu verstehen vermag, sondern diese Kompetenzen in der Altersstufe auch wirkungsvoll gefördert werden können (s. Abschnitt 4.7.1.1). Zudem beobachtete Rösch (2015) einen größeren Kompetenzzuwachs beim *Verständnis für die Bedeutung der Beobachtungsdauer* bei Probanden der Treatmentgruppe SYS als bei der Treatmentgruppe EXP bzw. der Kontrollgruppe KG_{Öko}. Insofern steht außer Frage, dass die geringen Effekte in der Interventionsstudie des Verfassers durch prinzipiell fehlendes Verständnis oder mangelhafte Auffassungsgabe und Verarbeitungsvermögen der Versuchspersonen bedingt wären: Entweder zeigten andere Studien die prinzipielle, teilweise sogar bemerkenswerte Förderbarkeit der domänenübergreifenden Kompetenzen bzw. es wurde in der eigenen Interventionsstudie zumindest eine geringfügige Förderbarkeit bei der domänenaffinen Kompetenz *Verständnis für die Bedeutung der Beobachtungsdauer* beobachtet. Daher stellt sich die Frage, welche Charakteristika der Lernumgebung EXP den Performanzzuwachs so gering gehalten haben mögen. Am plausibelsten erscheint die Hypothese, dass anspruchsvolle

¹²⁰ Ein Forschungsdesiderat wäre hier zu untersuchen, wie hoch der korrelative Zusammenhang zwischen der jeweiligen Performanz im Bereich *Epistemisches Fragen* bzw. *Experiment planen* ist, was Neber und Anton (2008 b) ansprechen.

Treatmentmerkmale (s. o.) eine solch hohe kognitive Belastung verursacht haben, dass nur vergleichsweise wenig mentale Kapazitäten zum Erlernen der eigentlich fokussierten experimentellen Kompetenzen noch zur Verfügung standen. Hinzu kommt, dass wenig *time on task* für die Förderung der *einzelnen* Kompetenzen realisiert werden konnte, wodurch sich die Intervention beispielsweise vom Treatment bei Neber und Anton (2008 b) unterscheidet, das sich auf *eine* Kompetenz konzentrierte.

Mit Blick auf die Interventionsstudie des Verfassers (Rösch, 2015) kann lediglich festgestellt werden, dass bei keiner der Treatmentgruppen der Aufbau des *Verständnisses für die Bedeutung der Beobachtungsdauer und Stichprobengröße für die externe Validität* bzw. – falls isoliert betrachtbar – des *Verständnisses für die Bedeutung der Stichprobengröße für die externe Validität* beobachtet werden konnte. Allerdings ist die Deutung, dies sei in der Kohortenstichprobe mit Blick auf den Stand der kognitiven Entwicklung oder die schulartspezifische mittlere kognitive Leistungsfähigkeit (noch) nicht möglich, nicht legitim: zum einen wurde bereits auf die insgesamt hohe kognitive Belastung durch diverse Treatmentmerkmale hingewiesen, die theoretisch mögliche Fördereffekte reduziert haben könnte. Zum anderen finden sich an anderer Stelle (s. Rösch, 2015) Argumente, welche die Gütekriterien Validität und Reliabilität sowie die Sensitivität des *Messinstruments* relativieren. Das heißt, gegebenenfalls könnte es einen Kompetenzzuwachs gegeben haben, der jedoch in einem solchen angenommenen Fall nicht durch das spezifische Diagnoseverfahren indiziert werden konnte.

Auch könnte die Weite des Transfers zwischen Item- und Lernkontexten eine Rolle spielen (vgl. Ganser & Hammann, 2009 b, S. 391). Auf Grundlage dieser Interpretation wäre den ausgewählten Itemkontexten maßgeblicher Einfluss auf die Schwierigkeit zuzuschreiben. Dies zeigte sich tatsächlich in anderen Studien bezogen auf die Performanz von kognitiven experimentellen Kompetenzen in Abhängigkeit vom Kontext bzw. Domäne (z. B. Krell, 2015¹²¹, Folie 15; Nehring, Nowak, Upmeier zu Belzen und Tiemann, 2015; Rieß, 2012, S. 158; Stauvermann, 2008, S. 82, 85).

Der Vergleich der durchschnittlichen Performanz zwischen den Subskalen für das *Verständnis der Bedeutung der Beobachtungsdauer* und das *Verständnis der Bedeutung des Stichprobenumfangs* (s. Rösch, 2015, S. 11 bzw. 17) deutet nichtsdestotrotz bestimmte Phänomene ansatzweise an, gesetzt den Fall, dass das Testinstrument zumindest ausreichend den Testgütekriterien genüge: Zum einen scheint das *Verständnis für die Bedeutung der Beobachtungsdauer für die externe Validität* bei 6.-Klässlern bereits höher ausgeprägt zu sein als das *Verständnis für die Bedeutung der Stichprobengröße für die externe Validität*. Dies

¹²¹ Aufgrund einer modifizierten, angemesseneren (mündliche Mitteilung am 14.09.2015) statistischen Auswertungsmethode erhielt Krell dieses Ergebnis, das von den Informationen im einige Monate zuvor redigierten Abstractband (<http://bildungdurchbiologie2015.de/Abstractband.pdf>, S. 30 f.; zuletzt abgerufen am 12.09.2015) abweicht.

kann ein Indiz sein, dass das Bewusstsein für die Bedeutung von Stichprobeneffekten kognitiv anspruchsvoller¹²² ist, weil es abstrakter oder zu dem Zeitpunkt des Heranwachsens weniger alltagsrelevant ist. Allerdings war auch zu beobachten, dass dessen Performanz bis zur 9. Klassenstufe stärker ansteigt als die Performanz des *Verständnisses für die Bedeutung der Beobachtungsdauer für die externe Validität*. Letzteres scheint zeitlich recht stabil zu sein und in der Schule auch nicht sonderlich systematisch gefördert zu werden. Diese Einschätzung wird durch die Beobachtungen von Arnold et al. (2013) gestützt, dass Lernende der gymnasialen Oberstufe beim eigenständigen Planen von Experimenten mit Organismen selten Langzeiteffekte in den Blick nehmen und eine längere Beobachtungsdauer, ggf. mit Messwiederholungen, in den Augen der wenigsten Versuchspersonen eine Rolle spielt.

Zweifelsohne verursachte die beim Experimentieren in der Treatmentgruppe EXP im Vergleich zum konventionellen Naturwissenschaftsunterricht in NWA¹²³ größere Autonomie eine höhere kognitive Belastung durch die metakognitive Selbstregulation. Reduzierte instruktionale Anleitung bzw. Unterstützung könnte bei einigen Lernenden dafür gesorgt haben, dass Motivation verringert wurde und die Strategienutzung nicht optimal ablief. Dies würde bedeuten, dass die wissenschaftsmethodischen oder / und auch die metakognitiven Strategien nicht effektiv eingeübt wurden. Hier zeigt sich, dass nicht nur fehlende kognitive, sondern auch mangelhafte metakognitive Ressourcen limitierende Faktoren für den Kompetenzzuwachs gewesen sein könnten. Einige der Lehrkräfte, die das Treatment EXP umsetzten, meinten, dass ihre Realschulklassen mit den metakognitiven und konzeptuellen Aspekten sehr gefordert und die Lernenden solch anspruchsvolle Aktivitäten bislang nicht gewöhnt seien.

7.6.3 Schulpraktische Implikationen

Aus diesen Überlegungen ergeben sich verschiedene Schlussfolgerungen für die Gestaltung von Unterricht und Curricula:

Erstens ist zu fragen, ob grundlegende erforderliche Fähigkeiten innerhalb der kognitiven Entwicklung bereits vorhanden sind, damit Fördermaßnahmen effektiv fruchten könnten, sofern andere Unterrichtsmerkmale angemessen gestaltet sind – etwa die Konzentration des *cognitive load* auf den Bereich des eigentlichen Förderfokus'. Was das Bewusstsein für Kriterien externer Validität betrifft, v. a. das Verständnis für die Bedeutung der Stichprobengröße,

¹²² vgl. Wu und Hsieh (2006, S. 1300), bei denen die Fähigkeit zur Beurteilung der Validität von Erklärungen auf empirischer Basis bei Sechstklässlern in einfacheren Domänen auch nicht gefördert wurde.

¹²³ = Naturwissenschaftlicher Fächerverbund *Naturwissenschaftliches Arbeiten* an baden-württembergischen Realschule im Bildungsplan von 2004 (MKJS, 2004).

sprechen die Befunde der Interventionsstudie (Rösch, 2015) dafür, die Schulung dieser Kompetenz erst zu einem späteren Zeitpunkt aufzunehmen, da sie kognitiv besonders anspruchsvoll erscheint (s. o.; auch zumal die Items lediglich eine Identifikation korrekter Lösungen verlangte, nicht die eigenständige Planung wie bei Arnold et al., 2013). Hieraus ergibt sich einmal mehr die Notwendigkeit für eine empirisch fundierte Konzeption von Spiralcurricula (vgl. auch Eisner et al., 2017 a, S. 150 f.) und eine entsprechend gestaltete fachdidaktische Ausbildung von Naturwissenschaftslehrkräften sowie die Bekanntgabe bzw. Berücksichtigung neuester Erkenntnisse aus der fachdidaktischen Forschung in Bildungsplänen, Schulbüchern bzw. Lehrerhandreichungen und Online-Aktualisierungen.

Zweitens muss darauf geachtet werden, den *Extraneous Load* (vgl. Unterbruner, 2007, S. 156) so gering wie möglich zu halten sowie bei der Formulierung von Unterrichtszielen und bei der Gestaltung Forschenden Lernens zur Förderung experimenteller Kompetenzen *wenige Schwerpunkte* zu setzen. Die kognitive und metakognitive Aktivierung soll in hohem Maße den prioritär intendierten Lernprozessen gewidmet sein bzw. zur Verfügung gestellt werden. Dies wirkt sich auch auf die *Gestaltung des Kontextes* aus, in dem der Lehr-Lernprozess eingebettet ist: Wie bereits ausführlicher dargelegt worden ist (vgl. Abschnitte 4.8.6.6 und 7.5.2), ist die kognitive Belastung durch Kontextmerkmale (z. B. berücksichtigte Kompetenzbereiche, Mehrperspektivität der Betrachtung etc.) soweit wie möglich zu minimieren, wenn das Training experimenteller Kompetenzen im Mittelpunkt steht und dort hohe Effekte erzielt werden sollen.

Drittens stellt sich die Frage, ob die Lernenden *genügend metakognitive Fähigkeiten* aufweisen, um in offener gestalteten Lernumgebungen (vgl. Priemer, 2011) erfolgreich experimentelle Problemlösung selbst regulieren und die kognitiven Kompetenzen folglich erfolgreicher anwenden zu können. Ist dies nicht in ausreichendem Maß der Fall, so empfiehlt sich ein vorausgehendes Training metakognitiver Fähigkeiten oder der Einsatz instruktionaler Hilfen durch mündliche Impulse oder vermittelt über entsprechend gestaltete Medien (vgl. Abschnitte 4.9.8.2 und 4.9.8.3).

Viertens unterstützt der Befund der Interventionsstudie zur Förderbarkeit der Kompetenz *epistemisches Fragen* die Forderung von Neber und Anton (2008 a, b), prozessbezogene, also wissenschaftsmethodische Kompetenzen für die präexperimentelle Phase zu fördern: Formulierungshilfen (vgl. Leisen, 2003 b) wie Fragenstämme (vgl. Naylor et al., 2010; Neber & Anton, 2008 b) als „Methoden-Werkzeuge“ (vgl. Leisen, 2003 a) und Lösungsbeispiele (vgl. Kirschner et al., 2006) helfen bereits in der Orientierungsstufe weiterführender Schulen, den eigenen experimentellen Problemlöseprozess durch gute Forschungsfragen besser zu strukturieren (vgl. Neber & Anton, 2008 b).

7.6.4 Ausblick

Angesichts der nur moderat ausgeprägten Testgütekriterien und Sensitivität der Itembatterie zum *Verständnis für die Bedeutung der Beobachtungsdauer und Stichprobengröße für die externe Validität* ergibt sich das Forschungsdesiderat, dieses Diagnoseinstrument zu optimieren, um anschließend verschiedene Fragen besser zu klären:

Erstens: Lässt sich der Befund (in der 6. sowie in weiteren Klassenstufen) reproduzieren, dass es sich beim Merkmal *Verständnis für die Bedeutung der Beobachtungsdauer und Stichprobengröße für die externe Validität* um ein eindimensionales Konstrukt handelt (vgl. Rösch, 2015, S. 15 f.)?

Zweitens: Verändert sich die Performanz des *Verständnisses für die Bedeutung der Beobachtungsdauer für die externe Validität* wirklich kaum zwischen der 6. und der 9. Klassenstufe?

Drittens: Ist in der 6. Klassenstufe eine (zumindest marginale) Förderung des *Verständnisses für die Bedeutung der Beobachtungsdauer und Stichprobengröße für die externe Validität* bzw. gegebenenfalls der Teilkompetenzen durch die Thematisierung konkreter Experimente doch möglich, in denen Langzeiteffekte und Stichprobeneffekte thematisiert und reflektiert werden – gegebenenfalls unter der Voraussetzung, wenn dafür mehr Zeit und Übungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen?

Des Weiteren ist von Interesse, wie *leistungsstärkere Lernende* z. B. an Gymnasien mit der Offenheit (vgl. Priemer, 2011) der Lernumgebung EXP und den dort thematisierten kognitiv anspruchsvolleren experimentellen Kompetenzen klar kommen (s. Forschungsfrage F-2, Abschnitt 6.1.7, Tab. 6-1). Höhere Performanz kognitiver und metakognitiver Fähigkeiten in jener Schulart (vgl. Abschnitt 4.5) sprechen für die Gültigkeit dieser Hypothese, die es allerdings noch zu überprüfen gilt.

7.7 Zielkriterien – Bedeutung *zusätzlicher* Kompetenzen fürs Experimentieren

In der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung ist bereits seit langem evident, dass neben der Förderung deklarativen Wissens über das Experiment als Methode sowie wissenschaftsmethodischer experimenteller Kompetenzen der Erwerb weiterer Kenntnisse, Einstellungen und Fähigkeiten den Aufbau bzw. die Anwendung experimenteller Problemlösefähigkeit begünstigen kann (s. Abschnitte 3.3.2 und 3.3.3). Hierzu gehören u. a. Domänenwissen, ein angemessenes *Nature of Science*-Verständnis, metakognitive Kompetenzen und ein hohes

Maß an Lernmotivation. Die in Rösch (2015) berichteten *post hoc*-Befunde bei der Performanzentwicklung der abhängigen Variable *Verständnis für die Bedeutung der Beobachtungsdauer für die externe Validität* in der Treatmentgruppe SYS geben Anlass, sich über einen möglichen Benefit durch die zusätzliche Förderung systemischen Denkens Gedanken zu machen und in diesem Zusammenhang die fachdidaktische Unterrichtsforschung zu intensivieren (s. Forschungsfrage F-8, Abschnitt 6.1.7, Tab. 6-1).

7.7.1 Zusammenfassung der Befunde

Durch die Hinzunahme der inhaltlich parallelisierten Treatmentgruppe SYS aus anderen Studien (Bräutigam, 2014; Vogel, Rieß & Nerb, 2011) konnte untersucht werden, ob der Aufbau des *Verständnisses für die Bedeutung der Beobachtungsdauer für die externe Validität* als domänenaffinen Komponente experimenteller Problemlösefähigkeit durch ein Training systemischen Denkens im Vergleich zur Kontrollgruppe begünstigt wird (vgl. Rösch, 2015). *Post hoc*-Ergebnisse (vgl. Rösch, 2015) deuten darauf hin, dass die Förderung systemischen Denkens eine Rolle dabei spielen *könnte*, ein angemesseneres Bewusstsein für die Bedeutung längerfristiger Beobachtung bei ökologischen Experimenten aufzubauen, als dies durch die alleinige Behandlung und Reflexion exemplarischer Experimente bewirkt wird. Aufgrund der inhaltlichen Parallelisierung der Experimentalbedingungen EXP, SYS und KG_{Öko} (s. Abschnitt 6.3.3.3; vgl. Bräutigam, 2014; Rösch, 2015) und des Vergleichs mit der Kontrollgruppe KG₀ ohne waldökologische Inhalte geben die *post hoc*-Befunde bzw. *a priori* vorhergesagten und bestätigten Ergebnisse Hinweise auf die Bedeutung zum einen von Domänenwissen, zum anderen einer womöglich gewissen Bedeutung systemischen Denkens.

7.7.2 Erweiterte Diskussion

Obgleich die Lernenden beider Treatmentgruppen EXP und SYS aufgrund der inhaltlichen Parallelisierung ähnliche Aspekte des Domänenwissens erwarben, unterschied sich doch das Systembewusstsein (vgl. Bräutigam, 2014), das auch ein Verständnis von Systemdynamik sowie prozessbezogene Fähigkeiten systemischen Denkens beinhaltet (vgl. Riess & Mischo, 2010). Es ist zu vermuten, dass die Förderung systemisches Denken somit ausschlaggebend war, dass das Verständnis für die Bedeutung der Beobachtungsdauer bei ökologischen Experimenten in der Treatmentgruppe SYS stärker als in der Kontrollgruppe KG_{Öko} gefördert werden konnte, während diese Kompetenz in der Treatmentgruppe EXP verglichen mit der Kontrollgruppe nicht signifikant gesteigert werden konnte. Offensichtlich befähigt sys-

temisches Denken eher zum Transfer zwischen Lern- und Itemkontexten als die ausgewählten Experimente der Treatmentgruppe EXP. Würde sich diese *ex post* festgestellte Überlegenheit der Treatmentgruppe zur Förderung systemischen Denkens in Folgestudien konfirmatorisch bestätigen, so ließe sich daraus eine wichtige Implikation für die Schulpraxis ableiten: Nämlich den Einbezug des Trainings systemischen Denkens zur Steigerung der Transferleistung hinsichtlich des *Verständnisses für die Bedeutung der Beobachtungsdauer* bei Experimenten in Ökosystemen.

Unklar ist bislang allerdings, ob die positiven Effekte, so es sie denn auf Ebene der Grundgesamtheit geben sollte, auf Fähigkeiten, systemisch zu denken oder aber auf erweitertes Domänenwissen an sich zurückgehen: Im Treatment SYS (vgl. Vogel et al., 2011) bearbeiteten die Probanden u. a. Lernaufgaben, bei denen Interdependenzen und Abläufe innerhalb von Ökosystemen erarbeitet wurden. Im Prozess der Aufgabenlösung musste systemisches Denken angewendet werden. Als Produkte entstanden z. B. Fluss- oder Regel-diagramme bzw. Concept maps (vgl. Bräutigam, 2014). Vor diesem Hintergrund ist noch nicht geklärt, ob vielleicht bereits die Beschäftigung mit den grafischen Schemata von ökosystemaren Zusammenhängen i. S. deklarativen Domänenwissens über das Ökosystem (zahlreiche Beziehungen, Längerfristigkeit durch langwierige Abläufe und deren ‚Verkettung‘) genügen würde, bei den in Rösch (2015) beschriebenen Items infolge von Transferleistungen auch ohne systemisches Denken bei der kognitiven Modellierung besser abzuschneiden. Dies gilt es, in weiterführenden Studien näher zu untersuchen (s. Abschnitt 7.7.4).

7.7.3 Schulpraktische Implikationen

In Anbetracht dessen, dass zu dieser Fragestellung bislang ausschließlich explorativ geforscht wurde (s. Rösch, 2015), also noch keine konfirmatorische Hypothesentestung vorgenommen worden ist (vgl. Abschnitte 1.6 und 6.3.1.2), sind Schlussfolgerungen ausschließlich hypothetischer Natur (vgl. Schecker, Parchmann & Krüger, 2014, S. 11). Sollte die gut begründbare Vermutung, dass systemischen Denken dabei zu helfen vermag, Langzeiteffekte in Ökosystemen eher zu antizipieren und entsprechend die externe Validität vorgegebener Designs adäquater zu beurteilen, empirisch bestätigt werden, so würden sich wichtige Implikationen für den kompetenzorientierten Experimentalunterricht ergeben. Es würde in Konsequenz bedeuten, dass die Förderung bestimmter experimenteller Kompetenzen nicht nur mit dem Erwerb mit Domänenwissen über das zu analysierende System einhergehen müsste, sondern dass Lehrkräfte auch systemisches Denken per se trainieren sollten, um die Kompetenzförderung in gewissen domänenspezifischen Bereichen experimenteller Problemlösefähigkeit zu optimieren.

Im Hinblick auf die *Lehrerausbildung* würde das entsprechend auch die Notwendigkeit nach sich ziehen, systemisches Denken stärker fachwissenschaftlich und fachdidaktisch im Studium und Vorbereitungsdienst sowie in der dritten Ausbildungsphase zu berücksichtigen.

Darüber hinaus ergäben sich curriculare Konsequenzen: In den inzwischen wieder stärker präzisierten *Bildungsplänen* müssten sich die Erkenntnisse über Zusammenhänge zwischen der Förderung systemischen Denkens und bestimmter experimentell relevanter wissenschaftstheoretischer bzw. -methodischer Kompetenzen niederschlagen (so sich diese tatsächlich durch weitere Unterrichtsforschung bestätigen sollten). Mit gutem Grund forderte Meyer (2007, S. 171), prozess- und inhaltsbezogene Standards in den Bildungsplänen zu präzisieren und nicht nur vage *outcome*-Standards zu nennen.

7.7.4 Ausblick

Um zu analysieren, ob sich eine höhere Ausprägung von Kompetenzen systemischen Denkens oder aber stärker vertieftes Domänenwissen (s. o.) begünstigend auf die Performanz auswirkt, die Bedeutung von Langzeitbeobachtungen bei ökologischen Experimenten korrekt zu beurteilen, bedarf es einer weiteren Untersuchung: Erstens gilt es, *a priori*-Hypothesen zu generieren und zu prüfen. Zweitens ist das Studiendesign entsprechend einer solchen Fragestellung und Hypothese zu gestalten. So benötigt man beispielsweise einen inhaltlich parallelisierten Vier-Gruppen-Untersuchungsplan (vgl. Rost, 2007, S. 125 ff.): eine Treatmentgruppe, bei der ausschließlich experimentelle Kompetenzen gefördert werden (vgl. Erläuterungen zur Experimentalbedingung EXP in Abschnitt 6.3.3.4), eine Treatmentgruppe, bei der Kompetenzen systemischen Denkens gefördert werden (vgl. Erläuterungen zur Experimentalbedingung SYS), eine Treatmentgruppe, bei der sowohl experimentelle Kompetenzen gefördert werden (vgl. Erläuterungen zur Experimentalbedingung EXP) als auch grafische Schemata zu den zahlreichen Wechselwirkungen zwischen Systemelementen und Verkettungen von Prozessen besprochen werden sowie eine Kontrollgruppen mit denselben ökologischen Inhalten wie in den Treatmentgruppen, jedoch ohne spezifische Fördermaßnahmen, ggf. unter Einbezug vorgegebener Concept maps. In einem weiteren Schritt könnte man¹²⁴ eine kombinierte Förderung von Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit und von einzelnen Dimensionen systemischen Denkens in der Domäne *Ökologie* untersuchen und dabei analysieren, in welcher Reihenfolge die einzelnen Lernmodule besonders große Effekte erzielen. Neben dem „Ob“ stellt sich ergo auch die Frage, „wie“ die Einbeziehung eines Trainings systemischen

¹²⁴ – wie ursprünglich auch in einer angedachten, jedoch noch nicht umgesetzten Nachfolgestudie von dem e*MNU-Teilprojekt und SYSDENA intendiert –

Denkens die Förderung eines *Bewusstseins für die Bedeutung von Langzeitbeobachtungen* bei ökologischen Experimenten zur Beurteilung des Designs hinsichtlich der externen Validität besonders gut begünstigen kann. Entsprechend bieten sich Studien zur Untersuchung der Sequenzierung der Fördermaßnahmen an: Sollte zuerst systemisches Denken trainiert und anschließend die externe Validität bei Experimenten thematisiert werden oder umgekehrt oder gleichzeitig?

Im Rahmen der Studien von Bräutigam (2014), Roesch (2015), Rösch et al. (2015) und Vogel et al. (2011) konnte, pragmatisch bedingt, keine Konstruktvalidierung der Kompetenzen systemischen Denkens in Abgrenzung zum deklarativen Domänenwissen in Zusammenhang mit den in Schemata (Pfeildiagramme, Flussdiagramme, Concept maps) dargestellten Systemwechselwirkungen und Prozessverkettungen durchgeführt werden – angesichts forschungsethischer Bedenken sollte keine weitere Datenerhebung erfolgen. Dabei wären solche Erkenntnisse über die bislang nur angenommene diskriminante Validität von vertieftem Wissen über das Ökosystem und systemischem Denken für eine angemessene Interpretation der Befunde wichtig (vgl. Schmiemann & Lücken, 2014, S. 112, 116).

Ein weiteres Desiderat ergibt sich mit Blick auf die Konstruktvalidierung i. S. einer diskriminanten Validierung mit dem *biologischen* oder gar *ökologischen Fachwissen* (vgl. Abschnitt 6.3.1): Zwischen den operationalisierten Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit untereinander und mit Fachnoten bzw. allgemeinen kognitiven Fähigkeiten wurde der korrelative Zusammenhang untersucht (vgl. Rösch et al., 2012, S. 196 f.). Was die Kompetenz *Verständnis für die Bedeutung von Beobachtungsdauer und Stichprobengröße für die externe Validität* (Rösch, 2015) betrifft, so gestaltet sich die Interpretation der geringen Korrelation mit der Note des Fächerverbands *Naturwissenschaftliches Arbeiten* als schwierig: Die im Vorfeld ermittelten Fachnoten sind weder ein guter Indikator für das biologische Fachwissen i. A. noch ansatzweise für das domänenspezifische ökologische Vorwissen i. B. (vgl. Vorholzer et al., 2016, S. 37) und können somit streng genommen nicht zu irgendeiner Konstruktvalidierung herangezogen werden (s. auch Abschnitt 5.2). Bedingt ist dies durch die komplexe Zusammensetzung der zusammengesetzten Fachnote, die über Fachwissen hinausgeht¹²⁵. In Folgestudien müsste insofern unbedingt das ökologische Fachwissen zum Zeitpunkt der Messung von Performanzwerten experimenteller oder systemischer Kompetenzen erhoben werden. Dies war im komplexen Projektverbund von e^xMNU und SYSDENA nicht realisierbar (s. o.).

¹²⁵ Gleichwohl nutzten u. a. auch Mayer et al. (2008, S. 66) die Biologienote als Indikator für inhaltliches Wissen.

7.8 Konzeptionelle Überlegungen zur Einführung der experimentellen Methode

Angesichts der kleinen Effekte der Förderung domänenübergreifender experimenteller Kompetenzen (vgl. Roesch et al., 2015; Rösch et al., 2012) stellt sich die Frage, ob zumindest Teile der für die Interventionsstudie des Verfassers entwickelten Unterrichtsideen und Lehr-Lernmaterialien gewinnbringend genutzt werden könnten, wenn man die in den vorausgehenden Abschnitten angesprochenen möglichen Ursachen stärker beachtet und die Lernumgebung entsprechend modifiziert¹²⁶ (s. Forschungsfrage F-12, Abschnitt 6.1.7, Tab. 6-1).

Der abschließend aufgenommene Einzelbeitrag (Rösch, 2012) beschreibt vor diesem Hintergrund *eine* mögliche didaktisch-methodische Herangehensweise¹²⁷, ein für die 3. bis 6. Klassenstufe sicher ausreichendes Grundverständnis für das Experiment als bedeutsame naturwissenschaftliche Erkenntnismethode aufzubauen. Die Erkenntnisse aus der o. g. Wirkungsstudie flossen in den im Folgenden beschriebenen Vorschlag für eine Unterrichtseinheit zur Einführung des Experimentierens mit ein.

7.8.1 Zielsetzung und Überblick über ein mögliches unterrichtliches Förderkonzept

Zielsetzung des in diesem Abschnitt vorgestellten Unterrichtsmodells ist es, ein ansatzweise angemessenes Grundkonzept des Experiments aufzubauen und notwendige domänenübergreifende experimentelle Kompetenzen zu fördern¹²⁸ (s. Forschungsfrage F-12, Abschnitt 6.1.7, Tab. 6-1). Diese kognitiven Fähigkeiten umfassen epistemologische Aspekte und verschiedene wissenschaftsmethodische Strategien bzw. methodologische Prinzipien und stellen Voraussetzungen für die Schaffung oder Beurteilung *interner Validität* dar (s. Abschnitte 3.3.2.2 und 4.2). Darüber hinaus dienen die experimentellen Aktivitäten der kontextuellen Einbettung expliziter Reflexion über ausgewählte *Nature of Science*-Aspekte (s. Abschnitt 3.3.2.2), die bereits in der Primarstufe (vgl. Grygier, 2008) bzw. der Orientierungsstufe verständlich sind (vgl. Carey et al., 1989; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Schauble et al.,

¹²⁶ mit Blick auf Lernende einer naturwissenschaftlichen Arbeitsgemeinschaft an einer baden-württembergischen Realschule unabhängig von der vorgestellten eigenen Interventionsstudie (Rösch et al., 2012) berichtete Pia Allgaier (mündliche Mitteilung im Sommer 2010), damals Mitarbeiterin am Naturschutzzentrum *Ruhestein* und Unterrichtende der EXP-Lerngruppen am Naturschutzzentrum, von sehr positiven Erfahrungen.

¹²⁷ wie sie alternativ beispielsweise auch von folgenden Autorinnen und Autoren entwickelt worden ist: Carey et al. (1989), Chen und Klahr (1999), Grygier (2008) sowie Klahr und Nigam (2004).

¹²⁸ Die als anspruchsvoller angenommenen Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit, die durch das Treatment EXP nicht gefördert wurden, wurden ebenso wie die Domäne *Ökologie* und der anspruchsvolle BNE-Kontext nicht berücksichtigt.

1991; Schneider et al., 1998). Diese betreffen die probabilistische Natur naturwissenschaftlicher Erkenntnis, die Bedeutung empirischer Evidenz für die Theoriebildung und -modifikation, die Wesenseigenschaft naturwissenschaftlichen Wissens, ein grundsätzlich vorläufiges, d. h. künftig auch prinzipiell falsifizierbares Denkmodell und Produkt der Kreativität zu sein sowie die Unterscheidung zwischen Theorie, Evidenz und Interpretation bzw. Schlussfolgerung (vgl. Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002, S. 556; Rieck & Stadler, 2008, S. 217).

Der didaktische Ansatz orientiert sich am moderaten Konstruktivismus (vgl. Reinmann & Mandl, 2006, S. 637 ff.; Widodo & Duit, 2004). Dabei werden auch vorunterrichtliche Schülervorstellungen aufgegriffen (vgl. Weitzel, 2012 a), wobei wissenschaftlich inadäquate Konzepte über Zweck und Ablauf von Experimenten (vgl. z. B. Carey et al., 1989; Hammann et al., 2006; Schauble et al., 1991) gemäß des *Conceptual Change*-Ansatzes (vgl. Krüger, 2007; Strike & Posner, 1992; Weitzel, 2012b) zu tragfähige(re)n kognitiven Schemata weiterentwickelt werden sollen. Im Rahmen kumulativer Lehr-Lern-Prozesse werden die Lernenden an Hypothesen-Prüfung, Kontroll-Ansatz (s. auch Beispiel 2 bei Frischknecht-Tobler & Labudde, 2010, S. 145), Variablenkontrolle, Zweck von Experimenten sowie Ablauf des hypothetisch-deduktiven Verfahrens herangeführt. Methodisch kommen dabei in einer ersten Phase narrativ und in Form von Bildergeschichten präsentierte Impulse zur Reflexion sowie zum kommunikativen Austausch und Aushandeln von Argumenten bezüglich aussagekräftiger Forschungsaktivitäten (von der Grundidee her ähnlich den Concept Cartoons bei Arnold, 2016) vor, auch angesichts von Störgrößen. Anregungen für Lernaktivitäten finden die Lernenden auf Arbeitsblättern zur Einführung und Einübung des hypothetisch-deduktiven Verfahrens (vgl. Lawson, 2003; Hammann, 2014). Wichtige Denkanstöße ergeben sich in Verbindung mit einem *kontraintuitiven Experiment* (vgl. Haider & Hartinger, 2010, S. 4). Dabei wird ein Experiment mit – für die meisten Lernenden – verblüffendem, also nicht erwartetem Ausgang (vgl. Kruse & Denk, 2015, S. 288) herangezogen. Die Beobachtung ‚anomaler‘ Daten (vgl. Schroedter & Körner, 2015, S. 301) führt zu einem *kognitiven Konflikt* (vgl. Widodo & Duit, 2004, S. 234) und kann dabei helfen, die epistemologische Bedeutung der prinzipiellen Falsifizierbarkeit von Hypothesen als Voraussetzung für deren Prüfung (vgl. Sedlmeier & Renkewitz, 2008, S. 28 f., 43) besser bewusst zu machen, sofern sich die Lernenden von der sinnhaften Erfahrung überzeugen lassen (sichtbares Verhalten des Fadenpendels). Dies kann darüber hinaus die künftige Tendenz zum „*confirmation bias*“ (Hammann et al., 2006, S. 292; Hervorhebung durch den Verfasser) reduzieren helfen, indem das Bewusstsein für Null- und Alternativhypothesen (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 24 f.) und deren Annahme oder Ablehnung bzw. für die Revision von Hypothesen geschärft wird (vgl. Haider & Hartinger, 2010, S. 4; Ganser & Hammann, 2009a, S. 39; Meisert, 2007, S. 432). In diesem Fall betrifft der kognitive Konflikt (vgl. Ganser & Hammann, 2009 b, S. 380; Krüger, 2007, S. 84) das häufig beobachtbare Konzept bezüglich der Funktion von Experimenten („Ingenieur-Modus“: Experiment zur

Veranschaulichung bzw. Bestätigung von ‚unveränderlichem‘ Wissen; vgl. Schauble et al., 1991, s. Tab. 4-1). Bei dem größtenteils hinter dem Karton befindlichen Pendel und der Manipulation von dessen Eigenschaften hinter verschlossenem Sichtfenster (s. Rösch, 2012, S. 16 f.) handelt es sich um ein *Black-Box-Experiment* sensu Kruse und Denz (2015, S. 288): Hierbei ist „die innere Struktur eines Objekts [besser: eines Systems; der Verfasser] und eines experimentellen Verfahrens nicht durch direkte Betrachtung ersichtlich [...] und [es kann] nur durch eine Beobachtung des [als Ausschnitt zugänglichen] äußeren Verhaltens auf das Innere geschlossen werden“. Der Widerspruch zwischen dem antizipierten, prognostizierten und dem tatsächlich nach dem experimentellen Eingreifen beobachtbaren Systemverhalten kann die Lernenden darin unterstützen, „theoretische Modelle von realer Erfahrung zu unterscheiden“ (Kruse & Denz, 2015, S. 288), was in diesem Zusammenhang eine wichtige Grundlage darstellt, das Konzept des Experiments als Methode zur Prüfung von Hypothesen über Kausalbeziehungen zu verstehen (vgl. Schulz et al., 2012): Durch Replikation (vgl. Randler et al., 2015) verdichtet sich die Plausibilität, dass unerwartete, anomale Evidenz nicht zwangsläufig auf fehlerhaftem Experimentieren resultieren muss, sondern dass die experimentelle Methode die Falsifikation von Denkmodellen sogar als ein bedeutsames epistemologisches Charakteristikum umfasst. Kontraintuitive Experimente sind somit „ein probates Mittel, um kognitive Prozesse auszulösen, die einen kritischen Umgang mit dem eigenen Präkonzept zum Gegenstand haben“ (Schroedter & Körner, 2015, S. 306). In diesem Fall tangiert das ‚Aha-Ergebnis‘ das Phänomen, dass die Frequenz eines Fadenpendels von der Fadenlänge und nicht von der Masse des Wägestückes abhängt, was von vielen Lernenden diesen Alters angesichts von Erfahrungen mit der Hangabtriebskraft beispielsweise beim Radfahren oder Rodeln angenommen wird.

Hierauf folgt die Erarbeitung wichtiger Phasen im Prozess experimenteller Erkenntnisgewinnung und einer möglichen sinnvollen Reihenfolge der damit verbundenen Schritte entsprechend dem hypothetisch-deduktiven Verfahren.

Daran schließt sich eine Phase an, in deren Mittelpunkt eigene einfache Experimente der Lernenden i. S. von *guided* bzw. *open inquiry* stehen (vgl. Priemer, 2011). Konkrete Anregungen und Sicherheitshinweise sind im Aufsatz (Rösch, 2012, S. 23 ff.) enthalten.

7.8.2 Diskussion des Unterrichtskonzepts und der Materialien bzw. Lernaktivitäten

Bei der Planung und konkreten Gestaltung von kompetenzorientierten Lernumgebungen wird einerseits versucht, Unterrichtsprozesse und Medien im Hinblick auf individuelle Lernvoraussetzungen und Verarbeitungsprozesse sowie spezifische Zielkriterien zielgruppenorientiert

bestmöglich aufeinander abzustimmen (vgl. Abschnitt 4-1). Andererseits sorgen institutionelle Rahmenbedingungen oder strukturelle Voraussetzungen (z. B. begrenzt zur Verfügung stehende Zeit, Ausstattung), aber auch bewusste didaktisch-methodische Entscheidungen dafür, dass manche Aspekte von Lernumgebungen kritisch betrachtet werden müssen. Im Folgenden werden einige Charakteristika der in Rösch (2012) vorgestellten Unterrichtskonzeption vor diesem Hintergrund analysiert und reflektiert.

So werden im Rahmen der adressatengerechten didaktischen Reduktion (vgl. Schaub & Zenke, 1995, S. 102) die Experiment-Methodologie und manche wissenschaftstheoretischen Aspekte stark vereinfacht dargestellt. Beispielhaft beleuchtet dieser Abschnitt zwei Aspekte näher, und es werden Schlussfolgerungen für Spiralcurricula abgeleitet, auf welche Weise die Konzepte zum Experiment angesichts dessen adäquat weiterentwickelt werden könnten.

Experimentieren wird im skizzierten Lehr-Lernprozess als *zyklischer Prozess* dargestellt, den eine anscheinend feststehende Anzahl und Sequenz von Erkenntnisschritten charakterisieren (vgl. Abschnitte 3.1 und 3.2). Es liegt einerseits aus lernpsychologischer Perspektive nahe, in unteren Klassen zunächst ein vereinfachendes kognitives Schema des hypothetisch-deduktiven Verfahrens aufzubauen, um die einzelnen Denkkategorien und Arbeitsschritte sowie die dahinterstehende Logik auf exemplarische Weise einzuführen. Hierfür ist es durchaus sinnvoll, ein schematisierendes *inquiry-cycle*-Modell als eine Art „Grundgerüst“ vorzustellen. Allerdings stellt dies eine zu starke Simplifizierung der epistemologischen Realität in den empirisch arbeitenden Wissenschaften dar (vgl. Abschnitt 2.2). Daher gilt es, im Rahmen eines Spiralcurriculums (vgl. Pfeifer, Lutz & Bader, 2002, S. 174 ff.; Schaub & Zenke, 1995, S. 331) zu einem späteren Zeitpunkt der Entstehung von NOS-Fehlvorstellungen vorzubeugen, indem die experimentelle Methode differenzierter betrachtet und anhand konkreter vorgegebener Beispiele und selbst zu machender Erfahrungen zu illustrieren ist, wie sie auch alternativ ablaufen kann. Dies ist etwa möglich, indem das historisch-problemorientierte bzw. -genetische Unterrichtsverfahren genutzt wird (vgl. Höttecke & Henke, 2010; Mayer, 2002, S. 17, 23; Pfeifer et al., 2002, S. 211 ff.): In der Geschichte der Naturwissenschaften wurden viele bedeutsame Erkenntnisse keineswegs linear, zyklisch oder gemäß einer feststehender Schrittfolge gewonnen. In einigen Fällen gab es Zufallsentdeckungen, an deren Beginn kein konfirmatorisches Experimentieren (vgl. Wirtz & Schulz, 2012, S. 67 ff.) stand (vgl. auch von Aufschnaiter & Riemeier, 2005, S. 8).

Des Weiteren könnten der Titel der Publikation (Rösch, 2012) oder der methodologisch-thematische Schwerpunkt der vorgestellten Unterrichtseinheit u. U. suggerieren, das Experiment sei ‚die‘ naturwissenschaftliche Methode beim Forschen schlechthin bzw. die einzige

Möglichkeit, im wissenschaftspropädeutischen Naturwissenschaftsunterricht Wissenschafts- bzw. *Nature of Science*-Verständnis¹²⁹ effektiv zu fördern. Somit müssen in späteren Lehr-Lernprozessen weitere naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen zur Erkenntnisgewinnung thematisiert und deren jeweiligen Stärken und Schwächen, Chancen und Grenzen herausgearbeitet werden (vgl. z. B. Köhler & Meiser, 2012, S. 134, Puthz, 1988; Spörhase & Ruppert, 2014, S. 87 ff.).

Anzunehmen, dass bereits *ein* Experiment mit anomalen Daten genüge, um das Wissenschaftsverständnis zu modifizieren, wäre selbstverständlich naiv: Da vorunterrichtliche Vorstellungen i. d. R. zeitlich recht stabil sind (vgl. Weitzel, 2012 a, S. 77 f.), sollten im Idealfall mehrere kontraintuitive Experimente neben bestätigenden einbezogen werden, sodass sich das neue Konzept des konfirmatorischen Experimentierens als hypothesenprüfendes Verfahren besser ausbilden kann. Didaktisch zielführend ist das *Procedere*, dass die Lehrkraft zunächst eine Sammlung von Vermutungen bzw. Hypothesen zu potenziellen Ursachen mit konkreten Vorhersagen zu angenommenen Auswirkungen auf die abhängige Variable anregt und bei deren anschließend aufeinanderfolgenden ‚kompetitiven‘ Prüfung gemäß des POE-Schemas (vgl. Hammann, 2014, S. 103 f.) zuerst die *falschen* Vermutungen testen und falsifizieren lässt (s. auch Abschnitt 9.2.2, Erster Aufenthalt am Naturschutzzentrum). Des Weiteren ist es nötig, ausgewählte experimentelle Kompetenzen nacheinander intensiver einzuüben (s. Abschnitt 4.10.3), was im Einzelbeitrag nicht explizit betont wurde. Schriftliche Lernaktivitäten zum analytischen Problemlösen unter Erarbeitung und Anwendung einzelner wissenschaftsmethodischer Fähigkeiten und Kenntnisse zum Experiment könnten besser helfen, die kognitive Belastung in diesem frühen Stadium zu reduzieren, als wenn ausschließlich Realexperimente im Mittelpunkt des Unterrichts stünden (vgl. Neber & Anton, 2008 a).

Nachdem in dieser Passage in konstruktiver Weise die didaktisch-methodische Herangehensweise des Treatments EXP für die Einführung domänenübergreifender Facetten experimenteller Problemlösefähigkeit aufgegriffen wurde, wendet sich der folgende Abschnitt der Frage zu, wie man kognitiv anspruchsvollere experimentelle Kompetenzen wie das Bewusstsein für externe Validität, z. B. in der Domäne *Ökologie*, fördern könnte.

7.9 Konzeptionelle Überlegungen zur Heranführung an Besonderheiten ökologischer Experimente

Der Tenor der Abschnitte 7.3 bis 7.7 ist, anspruchsvollere *domänenbezogene experimentelle Kompetenzen in komplexen biologischen Domänen* wie *Ökologie* oder *Verhaltensbiologie*

¹²⁹ zur Unterscheidung: s. Hofheinz (2010, S. 9).

(vgl. Moisl, 1988, S. 6) schrittweise in Form eines *Spiralcurriculum*s (vgl. Schaub & Zenke, 1995, S. 331) aufzubauen, *nachdem* die Lernenden bereits grundlegende *domänenübergreifende* Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit erworben haben. Das Bewusstsein für Voraussetzungen externer Validität wie Beobachtungsdauer und v. a. Stichprobenumfänge scheint eine solche kognitiv herausfordernde Kompetenz darzustellen (vgl. Abschnitt 7.6.1).

Wie vom Verfasser an anderer Stelle (Rösch, 2015, S. 20) angekündigt, soll an dieser Stelle konzeptionell überlegt werden, wie solch ein Spiralcurriculum gestaltet sein *könnte*. Die Betonung liegt auf dem Konjunktiv. Denn auch in diesem Fall steht eine empirische Erprobung noch aus. Es gilt nicht nur, die einzelnen vorgeschlagenen Inhalte zu präzisieren, konkrete Fördermaßnahmen zu entwickeln und deren Wirksamkeit per se zu prüfen. Vielmehr muss man auch untersuchen, in welchen Klassenstufen eine besonders effektive Förderung möglich ist. Box 7-2 stellt somit ausschließlich eine vorerst rein hypothetische Spiralcurriculum-Konzeption dar, deren Güte man in Zukunft noch untersuchen muss.

Box 7-2. Spiralcurriculum-Entwurf „Förderung eines Bewusstseins für externe Validität“

Ein *Spiralcurriculum* für die *systematische Förderung eines Grundverständnisses für externe Validität* sollte angesichts bereits vorliegender empirischer Erkenntnisse naturwissenschafts-didaktischer Forschung und in Anbetracht theoretischer Überlegungen unter anderem folgende Elemente umfassen:

- (a) Erarbeitung der Kriterien für *interne Validität* beim Experimentieren.
- (b) Erarbeitung von weiteren *Gütekriterien* naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung, die über interne Validität hinausgehen (z. B. Objektivität, Reliabilität).
- (c) Gezielte Begegnung mit *Phänomenen in komplexeren lebenden Systemen* (auf einfachstem, phänomenologischem Niveau), welche die Tragweite, Belastbarkeit und Sicherheit hinsichtlich Reliabilität und externer Validität beeinträchtigen (z. B. intra- und interindividuelle Unterschiede, Langzeiteffekte, Reihenfolgeeffekte). Neben allgemeinen methodischen und epistemologischen Kenntnissen sowie systemischem Denken ist hier wie bereits ausgeführt Domänenwissen über die untersuchten Systeme von Bedeutung (vgl. Bräutigam, 2014, S. 25 ff.; Eckhardt, 2010, S. 38; Mayer et al., 2008).
- (d) Eine sich daran anschließende gestufte Auseinandersetzung mit Möglichkeiten, die externe Validität zu steigern, erscheint gemäß des *Cognitive Apprenticeship-Ansatzes* sinnvoll:
 - (1.) Kennenlernen und Reflexion von Lösungsbeispielen (Kirschner et al., 2006) gelungener Beurteilung von Experimenten und Interpretation von Befunden,
 - (2.) selbstständige Beurteilung vorgegebener Experimente und Feedback,
 - (3.) Erarbeitung von Möglichkeiten, die Aussagekraft ökologischer Experimente durch entsprechende Designs methodisch zu erhöhen, sowie

(4.) Gelegenheit zur Anwendung entsprechender Kompetenzen in problemorientierten experimentellen Lernaufgaben (*guided* und schließlich *open inquiry*).

(e) Die *kognitiven Anforderungen von Lernaktivitäten* können u. a. hinsichtlich folgender Kriterien gesteigert werden:

- *Anschauung vs. Abstraktion*: von der konkret-operationalen Primärerfahrung in Real-experimenten mit Originalsystemen hin zu Modellierungen in Simulationen;
- *Komplexitätsgrad der analysierten Systeme*: von einzelnen Organismen über Populationen und Mehrspezies-Untersuchungen hin zu höheren biologischen Systemebenen sowie von einfachen Modell- hin zu komplexen Realsystemen;
- *methodologischer Anspruch und ökologisches Setting des Experimenttyps*: von gut kontrollierbaren Laborexperimenten über Mikrokosmos- und Mesokosmos- hin zu Feldexperimenten (vgl. Sommer, 2005, S. 8 ff.);
- *verhaltensbiologischer Kontext*: vom Individual- hin zu intra- bzw. später interspezifischem (Sozial-) Verhalten;
- *Zeitdimension*: von Kurzzeit- hin zu Langzeitexperimenten;
- *Anforderung an die Selbstregulation*: von schriftlich zu bearbeitenden Lernaufgaben über Computersimulationen hin zu Realexperimenten – zuerst nur einzelne, schließlich sämtliche Phasen (interaktiv) ausführend. Verschiedene prozessbegleitende instruktionale Unterstützungsmaßnahmen können die kognitive Belastung reduzieren helfen (vgl. Eckhardt, 2010, S. 28 ff.; Kirschner et al., 2006).

7.10 Tenor aus der Synopse der Einzelbeiträge: Spiralcurricula

In den vorausgehenden Abschnitten wurden aus den berichteten Befunden der Einzelbeiträge Schlussfolgerungen für die Schul- und ggf. auch Hochschulpraxis abgeleitet. Zum einen ergeben sich daraus ganz unterschiedliche Gedankenstränge. Zum anderen hat sich auch eine *zentrale Erkenntnis* herausgeschält: die Notwendigkeit für die Förderung der verschiedenen Facetten experimenteller Problemlösefähigkeit im Rahmen eines *längerfristig angelegten Spiralcurriculums* mit einzelnen Schwerpunkten (vgl. LISA, 2003, S. 14, 16; Meyer, 1978, S. 25; Peter, 2014, S. 163; Schaub & Zenke, 1995, S. 331):

*„Konzentrieren Sie sich bei den Übungen auf die Kernkompetenzen.
Stellen Sie sich die Frage, was die elementaren Grundlagen sind,
auf die [...] Ihr Unterricht aufbaut.“*

(Brüning & Saum, 2009, S. 109)

Der Gedanke hinsichtlich eines systematisch gestalteten und evidenzbasierten Spiralcurriculums wird im vorliegenden Abschnitt zusammengefasst und vertieft sowie mit der im neuen Bildungsplan von 2016 (MKJS, 2016 a und b) umgesetzten Konzeption in Bezug gesetzt.

7.10.1 Zusammenschau: Argumente für ein Spiralcurriculum zur Förderung

„Ein ganz selbstständiges Forschen ist mit sehr hohen Anforderungen verbunden; es stellt eher das Fernziel jahrelangen Übens und Sammelns von Erfahrungen dar.“

(Bell, 2010, S. 13)

„Die Förderung entsprechender Kompetenzen braucht Zeit.“

(Heimann & Neumann, 2011, S. 26)

Verschiedene *Gründe* sprechen auf Grundlage der Ergebnisse der Wirkungsstudie des Verfassers für die Anordnung von Fördermaßnahmen für Kompetenzen zur eigenständigen experimentellen Problemlösung über verschiedene Themenbereiche und Klassenstufen der Sekundarstufe(n). Sieben besonders *bedeutsame Argumente* werden im Folgenden angesprochen und vertieft:

Erstens besteht im Zusammenhang mit nachhaltigem Kompetenzaufbau grundsätzlich ein bestimmter *Übungsbedarf*. Das bedeutet, dass Fördermaßnahmen sowohl verschiedene *tasks*, also kognitiv aktivierende Lernaktivitäten, zum Kennenlernen, Anwenden und Transferieren von Kompetenzen, als auch genügend *time on task* benötigen. Die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit erfordert wie auch andere Formen der „Problemlösefähigkeit [...] langfristige Erfahrung mit dem Lösen von [z. B. experimentellen] Problemen“ (Zech, 2002, S. 351; vgl. auch Baumert et al., 2007, S. 124; Funke & Zumbach, 2006, S. 210; Maiseyenko, 2014, S. 101, 172 f.; Neber & Anton, 2008 b, S. 149; Neuhaus, 2011, S. 14; Peter, 2014, S. 162; Sodian et al., 2002, S. 204)¹³⁰ – zumal, wenn die Lernenden das Maß an Offenheit oder Problemorientierung beim Experimentieren noch nicht gewohnt sind (vgl. Besser & Heimann, 2017, S. 199). Das Treatment EXP war vor diesem Hintergrund zu ambitioniert konzipiert: Zu viele verschiedene Kompetenzen sollten in recht kurzer Zeit gefördert werden, was zweifelsfrei nicht nur die *Modelling-Phasen* (vgl. Abschnitt 4.9.8.3), sondern v. a. auch die schülerbezogene *time on task* pro Kompetenz reduzierte. Diese Problematik bringt Klahr (2013, S. 14077) sehr treffend auf den Punkt: „[...] there are deep theoretical reasons for assuming that the temporal duration of an instructional intervention plays a central role in what students learn from it“. Außerdem könnte sich Zeitknappheit bzw. Überfrachtung von kompetenzorientiertem Unterricht kompensatorisch auf eventuell durchaus als positiv erlebte Lernaktivitäten auswirken. Dadurch könnte ein unter Umständen als interessant, spannend und

¹³⁰ Das Treatment von Kuhn et al. (1992, S. 303) beispielsweise zog sich über einen Zeitraum von neun Wochen. Das Training selbstregulativer Fähigkeiten (die ja auch beim eigenständigen Experimentieren essentiell sind) beim mathematischen Problemlösen dauerte bei Collet (2009, S. 279) sogar ein Schuljahr. Auch Maiseyenko (2014) berichtet von einem Jahr zwischen Pre- und Posttest, in dem die drei Unterrichtseinheiten umfassende Intervention stattfand.

anregend empfundener Unterricht insgesamt an Attraktivität einbüßen¹³¹ (vgl. Merzlyn, 2008, S. 97).

Zweitens erfordern *kumulative Lehr-Lernprozesse* (vgl. Reinmann & Mandl, 2006, S. 623 f.), die aufeinander aufbauendes, aneinander anknüpfendes Lernen mit horizontalem und vertikalem Transfer (vgl. Meyer, 2007, S. 203) in den Mittelpunkt stellen, per se *ausreichend Zeit*: Soll Unterricht hinsichtlich zahlreicher Fehlkonzepte und -strategien in Bezug auf das Experimentieren (vgl. u. a. Carey et al., 1989; Hammann et al., 2006) einen mehr oder weniger tiefgreifenden Konzeptwechsel unterstützen, so sollte genügend Raum und Zeit zur Verfügung stehen, um die „Fruchtbarkeit“ (Krüger, 2007, S. 84 f.) der neuen Vorstellungen erfahrbar zu machen (vgl. auch Weitzel, 2012 b, S. 83). Wie man aus der *Conceptual Change*-Forschung weiß, trennen sich Lernende von alten Konzepten und Vorstellungen trotz Unterrichts unter Umständen nicht sofort und ziehen bei nicht ausreichender Elaboration die etablierten Schemata häufig den neu kennen gelernten Alternativen vor (vgl. Krüger, 2007, S. 81 f.).

Drittens sprechen Sachverhalte in Zusammenhang mit den *kognitiven Anforderungen spezifischer experimenteller Kompetenzen* auf der einen und mit der *kognitiven Entwicklung* der Lernenden auf der anderen Seite für die Gestaltung von Spiralcurricula über mehrere Schuljahre hinweg (vgl. Meyer, 1978; Moisl, 1988). Dieses Argument tangiert mit Blick auf das Mehrebenenanalytische Rahmenmodell (s. Abschnitt 4.1) zum einen die Ebene der *Zielkriterien* (zu fördernde Kompetenzen), zum anderen die Ebenen der *individuellen Lernvoraussetzungen* und der *individuellen Verarbeitungsprozesse* der Lernenden (vgl. Rieß, 2012, S. 160). Angesichts der langsamen Entwicklung einiger allgemeiner bzw. spezifischer *experimenteller kognitiver Kompetenzen* (vgl. Sodian, 2008) kommt es also darauf an, „Kompetenzentwicklung als zeitabhängigen [längerfristigen] Reifungsprozess zu verstehen“ (Suwelack, 2011, S. 64). Gleiches gilt für die Förderung von *Wissenschaftsverständnis* (vgl. Birkholz & Elster, 2016, S. 79, 86), das kognitiv unterschiedlich anspruchsvolle Komponenten aufweist und im Vergleich zum Verständnis von manuell-technischen oder wissenschaftsmethodischen Komponenten naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung abstrakter ist (vgl. Mayer & Ziemek, 2006) und nur über einen längeren Zeitraum aufgebaut werden kann.

Viertens hat die *Transferforschung* aufgezeigt, wie bedeutsam zahlreiche Übungs- (vgl. Rieß & Mischo, 2017, S. 5) und Vertiefungsmöglichkeiten in multiplen Lernkontexten kombiniert mit instruktionaler Begleitung (vgl. Reinmann & Mandl, 2006, S. 630 f., 640 f.) und Dekontextualisierung (vgl. Steiner, 2006, S. 195) sind.

Fünftens setzt sich experimentelle Problemlösefähigkeit als ein höchst *heterogenes Kompetenzbündel* aus domänenübergreifenden und domänenspezifischen Kompetenzen zu-

¹³¹ Ähnlich lautende Einschätzungen artikulierten manche Lehrkräfte, die das Treatment EXP umsetzten (mündliche Mitteilungen bzw. Anmerkungen in schriftlichen Rückmeldungen im Anschluss an die Hauptstudie 2010).

sammen, wobei verschiedene Domänen unterschiedliche Kompetenzen tangieren. Ergo kann umfassende, komponentenreiche experimentelle Problemlösefähigkeit zwangsläufig nur allmählich aufgebaut werden. Erst die sinnvoll strukturierte Sequenz von Lernmodulen in einem Spiralcurriculums ermöglicht in diesem Sinne optimales kumulatives Lernen.

Sechstens gehört zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit nicht allein der Aufbau deklarativen Wissens und wissenschaftsmethodischer Fähigkeiten zum Experimentieren. Eigenständiges Experimentieren setzt beispielsweise auch dafür notwendige *Techniken, psychomotorische Fertigkeiten, das Anfertigen von Protokollen* (vgl. Krämer, 2011) und *metakognitive Kompetenzen zur Selbstregulierung* des Problemlöseprozesses voraus (s. Abb. 3-2, Abschnitt 3.3.3). Diese können hinsichtlich der damit jeweils verbundenen kognitiven Belastung nicht sämtlich gleichzeitig mit den experimentellen Strategien eingeführt werden. Sie sollten vorgelagert werden, wofür wiederum zusätzliche Zeit anzuberaumen ist.

Siebtens spricht viel dafür, dass die Beurteilung der externen und speziell ökologischen Validität nicht nur eine besonders *anspruchsvolle Fähigkeit* darstellt, sondern darüber hinaus auch *vertieftes Domänenwissen* erfordert. Angesichts dessen betonen Chinn und Malhotra (2002, S. 213), wie wichtig es ist, viel Zeit in die Erarbeitung anspruchsvoller Reflexionsstrategien zur Auswertung komplexer Experimente zu investieren und entsprechende Kenntnisse und Strategien aufzubauen – authentisches Experimentieren gehe über die Variablenkontrollstrategie weit hinaus (vgl. ebd., S. 179 f.). Nachdem in der Primar- oder Orientierungsstufe der Sekundarstufe die Grundlage experimenteller Problemlösefähigkeit in Form domänenübergreifender experimenteller Strategien und basaler NOS-Konzepte gelegt worden ist, erscheint es plausibel, dass erst in den sich anschließenden Schuljahren das Bewusstsein für Stichprobenumfang und Beobachtungsdauer in Zusammenhang mit externer Validität aufgrund der fortgeschrittenen kognitiven Entwicklung und des umfangreicheren Domänenwissens in Ökologie optimaler entwickelt werden kann. Sollten die *post hoc*-Befunde (vgl. Rösch, 2015) zum positiven Einfluss *systemischen Denkens* in der gleichen Domäne auf dieses Bewusstsein in künftigen Studien bestätigt werden, so liegt folgende Vermutung nahe: Die Förderung systemischen Denkens könnte das Verständnis für Besonderheiten komplexer lebender Systeme steigern helfen und Vorteile für die Beurteilung bzw. Berücksichtigung von Kriterien externer und v. a. ökologischer Validität bei ökologischen Experimenten darstellen. Auch hier stellt die kognitive Belastung einen limitierenden Faktor für die Effektivität zeitgleicher Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit und systemischen Denkens dar, was für ein Nacheinander des Trainings spricht. Die jeweiligen Kompetenzbündel können in einem didaktisch konsistenten Spiralcurriculum besser aufeinander bezogen werden.

7.10.2 Bezug zum baden-württembergischen Bildungsplan der SEKI von 2016

Entsprechend den soeben dargelegten Argumenten für ein in sich schlüssig aufgebautes Spiralcurriculum zur *kumulativen Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit* (vgl. auch Eisner et al., 2017 b, S. 191 f.) gilt es nun, konkrete bildungsinstitutionelle Vorgaben zu analysieren. Dieser Intention widmen sich die folgenden Ausführungen.

Der gemeinsame baden-württembergische Bildungsplan für die Sekundarstufe I für den naturwissenschaftlich-technischen Fächerverbund BNT (Biologie – Naturwissenschaften – Technik) (MKJS, 2016 b) sieht wie in Abschnitt 1.3 bereits erwähnt einen integrativen Themenbereich „Denk- und Arbeitsweisen der Naturwissenschaften und der Technik“ vor, der im Rahmen Forschenden Lernens mit inhaltsbezogenen Bildungsstandards verknüpft werden soll: „Der Bereich der naturwissenschaftlichen und technischen Denk- und Arbeitsweisen erstreckt sich über alle inhaltsbezogenen Themenbereiche und stellt eine Schnittstelle zwischen inhalts- und prozessbezogenen Kompetenzen dar: Die Schülerinnen und Schüler lernen unterschiedliche Fachmethoden an konkreten Inhalten handlungsorientiert kennen. Sie wenden in altersgemäßer Form die Arbeitsweisen der Naturwissenschaften [...] an.“ (MKJS, 2016 b, S. 5; vgl. auch ebd., S. 11 ff.)

Des Weiteren findet sich eine Anmerkung, die den *Kontextbezug* des Lernens hervorhebt: „Die integrativen Bereiche verfolgen einen fächerverbindenden, *kontextorientierten* Ansatz. Bei der Umsetzung im Unterricht ist ein fachsystematisches Vorgehen dem *kontextorientierten Vorgehen* unterzuordnen.“ (MKJS, 2016 b, S. 7; Hervorhebung durch den Verfasser)

Die Formulierung, dass „Ökologie [...] ein Unterrichtsthema [sei], das in Vernetzung mit anderen Bereichen unterrichtet werden sollte“ (MKJS, 2016 b, S. 30), lässt in Anbetracht der im vorliegenden Kapitel zusammenfassend berichteten Befunde aus der Interventionsstudie und der dazu ausgeführten Überlegungen fragen, bis zu welchem Punkt die kognitiv anspruchsvolle Vernetzung ökologischer Aspekte mit weiteren Lernzielen in unteren Klassenstufen der Sekundarstufe I überhaupt Sinn macht. Auch ist zu klären, ob im Bildungsplan inhaltsbezogene die Ökologie betreffende Bildungsstandards mit der Erkenntnismethode *Experimentieren* vorgesehen sind.

Vom Kompetenzbereich *Erkenntnisgewinnung* sind im genannten Bildungsplan lediglich folgende Denk- und Arbeitsweisen und damit verbundene Kompetenzen vorgesehen:

- „1. Phänomene beobachten und beschreiben [...]
3. einfache Messungen durchführen [...]

8. Gestaltmerkmale von Lebewesen kriterienbezogen beschreiben und vergleichen
9. einfache Bestimmungshilfen sachgerecht anwenden“ (MKJS, 2016 b, S. 8).

Vor dem Hintergrund der Befunde aus der Interventionsstudie des Verfassers ist es einerseits positiv zu beurteilen, dass der Bildungsplan in der *Orientierungsstufe* keine ökologischen Experimente vorsieht. Andererseits ist verwunderlich, dass in höheren Klassenstufen nicht institutionell angedacht wird, Aspekte der externen oder gar ökologischen Validität von Experimenten zu behandeln und ggf. mit der Domäne *Ökologie* in Verbindung zu bringen.

Des Weiteren sollten im Bildungsplan Hinweise ergänzt werden, welche die Notwendigkeit langfristig angelegter, systematisch strukturierter Spiralcurricula betonen: Im Hinblick auf (a) die fortschreitende kognitive Entwicklung, (b) des im Lauf der Zeit erweiterten und vertieften Vorwissens in verschiedenen Domänen und (c) den längerfristigen Übungsbedarf ist dies geboten. Ansonsten könnten Lehrkräfte annehmen, dass *eine* ausführliche Unterrichtseinheit zur Einführung *diverser* naturwissenschaftlicher Erkenntnismethoden als gute Basis genüge, was schon allein für domänenübergreifende *experimentelle* Kompetenzen angesichts der Befunde der Interventionsstudie (Rösch et al., 2012) als fraglich erscheint – zumindest was mittelmäßig leistungsstarke Lernende betrifft.

7.11 Weiterführende Überlegungen zu *Post hoc*-Befunden der Interventionsstudie

Nachdem sämtliche vorausgehende Abschnitte Wirkungen behandelten, die im Rahmen von *a priori*-Hypothesen untersucht wurden, widmet sich diese Passage Ergebnissen, die erst bei der Sichtung der Daten ins Blickfeld kamen und nicht im Fokus einer confirmatorischen Hypothesenprüfung standen. Diese haben folglich explorativen Charakter (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 353 ff.) und dienen der Entwicklung von Hypothesen. Es verbietet sich zwar, *ex post*-Interpretationen auszusprechen (vgl. Rost, 2007, S. 12, 68 f.), jedoch ist es für künftige Forschungsvorhaben von Interesse, besonders interessante *post hoc*-Phänomene zumindest anzusprechen und induktiv Überlegungen dazu anzustellen.

Zwei *post hoc* beobachtete Phänomene sollen hier angesprochen und reflektiert werden: zum einen teilweise beachtliche Unterschiede in den Leistungszuwächsen zwischen verschiedenen EXP-Treatment-Klassen, zum anderen die stärkere Förderung einzelner Kompetenzen auf Seiten der Mädchen.

7.11.1 Unterschiede zwischen EXP-Treatment-Stichprobenclustern

Hinsichtlich des ersten Sachverhalts gab es Hinweise, dass auch Merkmale der jeweiligen Lehrkraft (vgl. Klieme et al., 2010, S. 289) bzw. der Lerngruppe innerhalb der Klumpenstich-

probe (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 58 f., 435 ff.; Rost, 2007, S. 87, 96) die Effektivität des Treatments EXP beeinflusst haben könnten (vgl. auch Ganser & Hammann, 2009 b, S. 391): So wurden in einer der Lerngruppen besonders große Wirkungen auf die Kompetenzzuwächse beobachtet, bei anderen sehr geringe¹³². Da die Lehrerhandreichung Inhalte sowie didaktisch-methodisches Procedere einheitlich vorgab, könnten sich Motivation (vgl. Bauer, 2010, S. 8), pädagogische Kompetenzen, Erwartungen und Persönlichkeitsmerkmale der Lehrkräfte sowie deren Verhältnis zu und „unsystematische Interaktionen“ (von Aufschnaiter, 2014, S. 84) gegenüber den Lerngruppen ausgewirkt haben (s. Abschnitte 4.8.3 und 4.8.4; vgl. auch Bromme, Rheinberg, Minsel, Winteler & Weidenmann, 2006, S. 299 ff.; Hattie, 2013, S. XV, 38, 41 f., 141 ff., 145 f.; Helmke, 2009, S. 30; Meyer, Pfiffner & Walter, 2007 a, S. 44; Schmidkuntz, 2005, S. 20). So zeigt beispielsweise Bauer (2010, S. 7 ff.; 2017, S. 5 ff.) aus entwicklungspsychologischer und neurowissenschaftlicher Perspektive überzeugend auf, inwiefern eine gute, auf Empathie und Sympathie basierende Beziehung zwischen Lehrenden und Lernenden und die daraus resultierenden Resonanzen auf neurobiologischer Ebene Lerneffekte und die Selbstregulation (vgl. auch Bauer, 2017, S. 8 f.) zu begünstigen vermögen. Gerade die auf gegenseitiger Wertschätzung gründende „Glaubwürdigkeit [und Akzeptanz] des Lehrers“ (Weitzel, 2012b, S. 92) könnte(n) einen unterschiedlichen Effekt auf die Wirksamkeit des Treatments gehabt haben (vgl. auch Bauer, 2017, S. 9; Roth, 2009, S. 63 f., 71; Roth, 2017, S. 326 f.). Rumann (2004, S. 134) berichtet von solchen ‚Lehrereffekten‘ (s. auch Peter, 2014, S. 102 f.; Theyßen, 2014, S. 70).

Vorholzer (2016, S. 112) verringerte die Wahrscheinlichkeit von Lehrereffekten, indem Lehrkräften keine zentrale Bedeutung während des Unterrichts zukam und die Lernenden stattdessen in erster Linie mithilfe von Lernmedien angeleitet und kontrolliert wurden. Dies war im Rahmen der eigenen Wirkungsstudie angesichts der Komplexität der Lernumgebung nicht möglich. In künftigen Forschungsvorhaben sollte diesem methodologischen Sachverhalt mehr Beachtung zuteil werden.

Gründe für die unterschiedliche Performanzentwicklung bis zum Posttest-Zeitpunkt könnten aber auch auf der Lerngruppenebene liegen. So könnte die Treatmentwirkung u. a. davon abhängen, wie motiviert (vgl. Dittmer et al., 2016, S. 101), offen und wertschätzend die Lernenden gegenüber Neuem sind und wie förderlich die Lernatmosphäre ist (s. Abschnitt 4.6; vgl. Hattie, 2013, S. 38, 40, 57 f.). Die beachtlichen Treatmenteffekte in einer der Klassen mit EXP-Treatment lassen das grundsätzliche Potential der Unterrichtskonzeption erahnen. Die zugehörige Lehrkraft zeigte sich sehr überzeugt vom didaktisch-methodischen Ansatz und setzte die Ideen auch in einer naturwissenschaftlichen Arbeitsgemeinschaft um (vgl. mündliche Mitteilung von Pia Allgaier, Juni 2010).

¹³² Gerade in Feldstudien können sich hierdurch Störfaktoren ergeben (vgl. von Aufschnaiter, 2014, S. 84).

Angesichts der moderaten Stichprobengrößen ist die Wahrscheinlichkeit für Stichprobeneffekte nicht sonderlich niedrig (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 509). Eine Mitarbeiterin des Naturschutzzentrums berichtete in der Pilotstudie z. B. von manchen demotivierten, besonders leistungsschwachen Klassen (schriftliche Mitteilung von Pia Allgaier am 07.07.2009).

7.11.2 Unterschiede in den Treatmenteffekten zwischen Mädchen und Jungen

Als zweiten Aspekt gilt es nun, die verschieden starken Entwicklungsverläufe zweier experimenteller Kompetenzen bei Mädchen und Jungen näher zu betrachten (s. Roesch et al., 2015, S. 593; Rösch et al., 2012, S. 196 f.). Wie in Abschnitt 4.7.5 ausgeführt waren auch bei den großen internationalen Schulleistungsvergleichsstudien hinsichtlich *bestimmter* Kompetenzen Unterschiede zu beobachten; wohingegen dort die Gesamtleistung nicht überzufällig voneinander abwich (vgl. z. B. Baumert et al., 2001, S. 252 f.), was auch in einigen kleineren Studien zu beobachten war (vgl. Peter, 2014, S. 97; Stebler et al., 1998, S. 28, 36).

Klos (2008, S. 72 ff.; vgl. auch Klos, Henke, Kieren, Walpuski & Sumfleth, 2008, S. 312) hingegen konnte bei der Bearbeitung von dichotomen Items im Naturwissenschaftliche[r]-Arbeitsweisen-Test einen signifikanten Unterschied (kleiner Effekt) zwischen Mädchen und Jungen der 7. Klassenstufe beobachten. Ob in der eigenen Interventionsstudie (Rösch et al., 2012) als Ursache für die differenten Befunde unterschiedliche kognitive Ressourcen und Leistungsfähigkeit in Betracht kommen, erscheint jedoch fraglich. Vielmehr könnten motivationale Gründe (vgl. van Vorst et al., 2015, S. 30) oder die sprachliche Ausdrucksfähigkeit betreffende Unterschiede, ggf. in Verbindung mit Verunsicherung, auf Seiten zahlreicher Jungen eine Rolle spielen – denn das Phänomen trat in der eigenen Studie anders als bei Klos (2008) bei Freitext-Antworten auf. Auch die Studie von Schmidt und Möller (2013, S. 205) bescheinigte Mädchen eine höhere Performanz in einem Experimentiertest. Hof (2011, S. 110 f.) stellte in einer Treatmentgruppe zur Förderung wissenschaftsmethodischer Kompetenzen durch Forschendes Lernen mit offeneren Experimentierphasen einen beinahe signifikanten Unterschied ($p = .07$) im Erwerb wissenschaftsmethodischer Kompetenzen zugunsten der Mädchen fest. Hammann und Prenzel (2008, S. 71 f.) sowie Prenzel et al. (2008, S. 115) berichteten, dass die Leistungen der Mädchen in der Teilkompetenz *Naturwissenschaftliche Fragestellungen erkennen* bei PISA 2006 in allen OECD-Staaten signifikant höher als bei den Jungen war (vgl. auch Prenzel et al., 2007a, S. 90) – selbst, wenn die Lesekompetenz statistisch kontrolliert wurde. Dies zeigt, dass das (Meta-)Wissen über die Natur der Naturwissenschaften bei 15-jährigen Mädchen stärker ausgeprägt zu sein scheint als bei gleichaltrigen Jungen. Dies könnte entweder aus einer besseren Förderung oder aus entwicklungsbedingten Ursachen (oder aus deren Interaktion) resultieren. Beim dritten IQB-Ländervergleich lagen die Mädchen im Kompetenzbereich *Erkenntnisgewinnung* in allen Naturwissenschaften vor den Jungen, darüber hinaus in Biologie auch im Kompetenzbereich *Fachwissen* – im Fach Biologie umfasst

der Leistungsvorsprung der Mädchen insgesamt fast ein Schuljahr (vgl. Schroeders, Penk, Jansen & Pant, 2013, S. 259).

Quenzel und Hurrelmann (2009, S. 7) deuten eine mögliche Erklärung an, die bei vielen (prä-)pubertierenden männlichen Probanden durchaus bedeutsam sein könnte: die von vielen Jungen empfundene „Unvereinbarkeit von Männlichkeit und schulischem Ehrgeiz“ in Verbindung mit „einer lässigen, beinahe verachtenden Haltung gegenüber schulischen Anforderungen“. Damit einher gehe eine im Vergleich mit Mädchen oftmals geringere „Bereitschaft, sich für diese [schulischen] Leistungen zu disziplinieren und hart zu arbeiten“. „Dagegen gilt es unter Mädchen als ‚cool‘, etwas für die Schule zu tun“ (ebd.; vgl. auch Belenky et al., 1986 a, S. 206; Reiff, 2008, S. 51; Roth, 2017, S. 330). Da im Rahmen des Projektverbunds der Studien SYSDENA und EXP im Rahmen von e*MNU auf die beteiligten Klassen zahlreiche schriftliche Erhebungen zukamen (vgl. Abschnitt 6.3.3.2), die laut den unterrichtenden Lehrkräften zu erheblicher Frustration und Unlust bei vielen Probanden führten, könnte die Demotivation auf Seiten vieler Jungen zu einem nachlässigeren Testbearbeitungsverhalten und somit zur Verfälschung der empirischen Befunde geführt haben (vgl. auch Bortz & Schuster, 2010, S. 305). Die Durchsicht der Testbögen stützt angesichts zahlreicher unangemessener Bemerkungen und Kritzeleien diese Hypothese.

Einen weiteren Erklärungsansatz liefern Schoultz, Säljö und Wyndhamn (2001, S. 216, 233): Im Gegensatz zu mündlich-verbale Kommunikationsformen seien schriftliche Antwortformate anspruchsvoller und mit *mehr Ungewissheit* verbunden. Lesen und Schreiben erfordern den Autoren zufolge „a specialised and sophisticated cognitive socialisation“ (ebd.) – diese könnte in dieser Kohorte bei den Mädchen statistisch bereits in stärkerem Maß stattgefunden haben. Hieraus würde resultieren, dass für viele Mädchen die Hürde niedriger als für Jungen ist, sich auf die adäquate Bearbeitung von Freitext-Items einzulassen. Dies würde gerade in eher bildungsfernen Schichten, bei Probanden mit anderer Muttersprache oder eben für Jungen eine Reduzierung der Validität für anspruchsvollere schriftliche Testformate verglichen mit mündlichen Assessmentverfahren bedeuten (vgl. ebd., S. 223).

Ein anderer Erklärungsansatz betrifft *motivationale Gründe*: Das *fachbezogene Interesse* bzw. speziell die *domänenbezogene Motivation* könnte sich zwischen den Geschlechtern unterscheiden und sich auf die fachliche Leistung auswirken (vgl. Baumert et al., 2001, S. 265). Dementsprechend würde es sich um Mediationseffekte der bereichsspezifischen Motivation handeln. Bei PISA 2000 zeigte sich ein großer Zusammenhang zwischen Interesse und Leistung (vgl. Baumert et al., 2001, S. 265). Bei PISA 2006 wurde mit $r = .34$ (vgl. Prenzel et al., 2007a, S. 139) ein mittelstarker Effekt (vgl. Wirtz & Nachtigall, 2008, S. 107) bei der Korrelation zwischen *naturwissenschaftlicher Kompetenz* und dem Merkmal *Freude und Interesse an Naturwissenschaften* festgestellt. Allerdings existieren laut den Ergebnissen von TIMSS (vgl. Baumert, Lehmann et al., 1997, S. 168 f.) zum Zeitpunkt der Datenerhebung in

der Realschule keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede bezüglich des Sachinteresses an Biologie. Dies könnte sich allerdings in der Zwischenzeit verändert haben. Teilnehmende Beobachtungen der EXP-Lerngruppen am Naturschutzzentrum ergaben, dass selbst bei schüler- und handlungsorientierten Lernaktivitäten Desinteresse und geringe Lernmotivation unter Jungen häufiger vorherrschten als bei den teilnehmenden Mädchen.

Nachdem sich dieses und die vorausgehenden Unterkapitel schwerpunktmäßig mit den Ergebnissen der Interventionsstudie des Verfassers befasst haben, setzt sich der folgende Abschnitt mit der Verortung der Analysebefunde von Schulbüchern und Lehrerhandreichungen (Rösch, 2013) im Mehrebenenanalytischen Rahmenmodell vor dem Hintergrund von Erkenntnissen der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung auseinander.

7.12 Unterrichtsmedium Schulbuch – theoretisch großes, aber begrenzt genutztes Potenzial

Schulbücher und zugehörige *Lehrerhandreichungen* werden entsprechend institutioneller Rahmenbedingungen (z. B. Vorgaben zu äußerer Differenzierung in Schularten und damit verbundenen Standards in spezifischen Bildungsplänen) konzipiert und gestaltet. Sie durchlaufen ein aufwändiges Bewilligungsverfahren (vgl. Berck & Graf, 2010, S. 164). Zu den Beurteilungskriterien gehören u. a. sowohl die Umsetzung entsprechender bildungspolitischer Setzungen als auch die Berücksichtigung bewährter didaktisch-methodischer Konzepte. Berck und Graf (2010, S. 168) betonen in diesem Zusammenhang, dass auch didaktisch-methodische Hinweise und Impulse zur Gestaltung Forschenden Lernens mithilfe des Schulbuchs die Güte von Lehrerbänden ausmachen. Somit sollen bei Neuerscheinungen also nicht nur institutionelle Vorgaben umgesetzt, sondern auch neuere Erkenntnisse der fachdidaktischen Forschung aufgegriffen und bei der Gestaltung berücksichtigt werden.

Als im Schuljahr 2016/17 an vielen Schularten Baden-Württembergs der Beginn einer neuen Bildungsplan-Ära (MKJS, 2016 d) eingeläutet wurde, ging dem die Entwicklung einer im Vergleich zu früheren Auflagen bzw. Reihen modifizierten, mit den neuen Anforderungen besser kompatiblen Schulbuch-Generation voraus. Da es galt, Schwächen und Unzulänglichkeiten früherer Schulbuch-Auflagen zu erkennen und künftig zu reduzieren, sprachen mehrere gute Gründe dafür, in Zusammenhang mit der eigenen Interventionsstudie (Roesch et al., 2015; Rösch et al., 2012) eine Analyse entsprechender Unterrichtswerke der betrachteten Zielgruppe (Realschulen in Baden-Württemberg, Orientierungsstufe) durchzuführen, um den damaligen Status quo bezüglich Experimentalunterricht zu beleuchten (s. Forschungsfragen

F-10 und F-11, Abschnitt 6.1.7, Tab. 6-1). Die folgenden Abschnitte stellen die eigenen Analyse-Ergebnisse (Rösch, 2013) verschiedenen Befunden der aktuellen naturwissenschaftsdidaktischen Unterrichtsforschung sowie Vorgaben im Bildungsplan von 2016 (MKJS, 2016 a) gegenüber.

7.12.1 Zusammenfassung und Bewertung der Befunde

Zahlreiche andere Studien (z. B. Prenzel et al., 2007 a), welche die tatsächlichen Muster im naturwissenschaftlichen Unterricht untersuchten, kamen bereits zu früheren Zeitpunkten zum Ergebnis, dass Lernende selten *minds-on*-Experimente bearbeiten (s. Abschnitt 4.9.7.1) und dass die Planung eigener Experimente sowie weitere Schritte der präexperimentellen Phase (vgl. Neber & Anton, 2008 a, S. 144) eine untergeordnete Rolle spielen (vgl. auch Euler, 2010, S. 804)¹³³. Dieser Befund stützt die Ergebnisse der Aufgabenanalyse von Jatzwauk (2007, S. 133) sowie der Unterrichtsanalyse von Baer et al. (2015), die bestimmten Kriterien kognitiver Aktivierung ein besonders niedriges Niveau attestieren. So wird beispielsweise den Lernenden vor der Durchführung von Schülerexperimenten wenig Gelegenheit gegeben, „in (eigen-)aktiver Weise vertieft Denkprozesse [zu] zu vollziehen, d.h. sich ihrem kognitiven Niveau und Vorwissen entsprechend anspruchsvoll mental mit dem Lerngegenstand auseinander[zu]setzen“ (Baer et al., 2015, S. 178).

Die eigene Analyse einer Stichprobe von Schulbüchern und zugehörigen Lehrerhandreichungen der 5. und 6. Klassenstufe für Realschulen in Baden-Württemberg (Rösch, 2013) illustriert nun eine mögliche Ursache dafür, nämlich dass Lehrkräfte in den exemplarisch untersuchten Schulbüchern und Lehrerhandreichungen kaum Anregungen für offene forschende Lernaktivitäten erhalten (haben), speziell dafür, wie Arbeitsaufträge zu offenen Schülerexperimenten bzw. solchen, die den *hands-on*-Charakter zumindest ansatzweise überschreiten, gestaltet sein könnten und auf welche Weise Impulse zur Reflexion bzw. für explizites Training umsetzbar sind. Die Analyse zeigt auch, dass für viele zentrale wissenschaftsmethodische Fähigkeiten und experimentelle Strategien wenige Informationen zur Verfügung gestellt werden. Die meisten Lernaufgaben umfassen also relativ exakte Handlungsanweisungen, so dass eigenständiges und durchdachtes Experimentieren höchst selten gefordert wird, das naturwissenschaftlichem Problemlösen sensu Mayer (2007) näher kommt (s. Forschungsfrage F-10, Abschnitt 6.1.7, Tab. 6-1).

¹³³ In diesem Zusammenhang erscheinen die Befunde einer Studie von Buck et al. (2008, S. 54 f.) im anglo-amerikanischen Raum erst recht als höchst problematisch, die selbst Handreichungen für studentische Praktika einen geringen Offenheitsgrad bescheinigte.

Als bedenklich ist auch der nicht selten verwässernde Gebrauch des „Experiment“-Begriffs als Bezeichnung anderer experimenteller Handlungsformen anzusehen (s. Forschungsfrage F-11, Abschnitt 6.1.7, Tab. 6-1). Der Begriff „Experiment(ieren)“ wird zwar in den untersuchten Schulbüchern in mehr Fällen adäquat verwendet, als dies Lethmate (2006) bei Geographie-Publikationen beobachtete. Gleichwohl wurde in den vom Verfasser analysierten Schulbüchern das Label „Experiment(ieren)“ bei knapp einem Drittel der betreffenden Aufgaben falsch eingesetzt (s. Rösch, 2013, S. 301).

Dass in den seltensten Fällen von Aufgaben in Schulbüchern Hypothesen *a priori* aufgestellt und anschließend einer experimentellen Überprüfung unterzogen werden sollen (vgl. Rösch, 2013), deckt sich mit den Befunden von Tesch und Duit (2004) (vgl. auch Euler, 2010, S. 814). Dies kann nicht allein durch noch unzureichendes Domänenwissen in der Orientierungsstufe begründet werden: Vielmehr spielt auch die Stellung des jeweiligen Experiments im Unterrichtsverlauf bzw. dessen didaktische Funktion (vgl. Rinschede, 2003, S. 278 f.) eine Rolle. Bei der Auswertung der Schulbuchanalyse (Rösch, 2013) zeigte sich, dass Experimente v. a. der Produktion von Phänomenen dienen (vgl. auch Tesch & Duit, 2004) und nur in manchen Fällen zumindest Impulse zum Aufstellen von *ex post*-Hypothesen gegeben werden.

Tab. 7-1. Häufigkeit echter Schülerexperimente in Lernaufgaben^x, geordnet nach Domänen

Domäne bzw. Unterrichtseinheit*	Häufigkeit	
	absolut [Anzahl]	relativ [%]
Stoffe, Stoffgemische, Trennverfahren	24	18.0
Elektrostatik / Elektrizität	19	14.3
„Luft“	16	12.0
Magnetismus	15	11.3
Botanik	14	10.5
„Bewegung in Natur und Technik“	12	9.0
Sonstige Themen	11	8.3
Zoologie	8	6.0
Humanbiologie	6	4.5
Temperatur	4	3.0
„Vom Rohstoff zum Produkt“	2	1.5
Ökologie	1	0.8
„Wasser“	1	0.8
Gesamt	133	100,0

Anmerkungen. ^x: bezogen auf die von Rösch (2013) analysierten NWA-Schulbücher der Orientierungsstufe.
*: in Anführungszeichen.

Im damaligen Bezugsbildungsplan von 2004 (MKJS, 2004) sollten ökologische Inhalte in der Orientierungsstufe spiralcurricular eingeführt werden. Dies bildet sich in den untersuchten Schulbüchern auch so ab. Allerdings gehört die Ökologie zu denjenigen Domänen, in welchen am wenigsten Experimente als Lernaufgabe vorgeschlagen werden: In Tabelle 7-1 sind – ergänzend zu den Ausführungen in Rösch (2013) – die absoluten und relativen Häufigkeiten von Schülerexperimenten im Rahmen von Lernaufgaben den jeweiligen Domänen zugeordnet. Es ergibt sich ein ähnliches Bild wie in Abschnitt 4.13.4 mit Blick auf naturwissenschafts-didaktische Studien: Der überwiegende Teil der in den Schulbüchern vorzufindenden Experimentalaufgaben betrifft physikalische Domänen und insofern weniger komplexe Systeme als in der Domäne *Ökologie* (vgl. Moisl, 1988, S. 6).

7.12.2 Erweiterte Diskussion

Wie erwähnt wurde im Rahmen der Interventionsstudie des Verfassers bedingt durch das Untersuchungsdesign nicht eindeutig festgestellt, auf welche Ursache(n) der begrenzte bzw. ausbleibende Kompetenzzuwachs zurückzuführen ist. Daher ist ausschließlich eine moderate Beurteilung der Befundlage der Schulbuchanalyse bezüglich der Domänen angemessen, in denen die Experimentalaufgaben eingebettet wurden. Zweifelsohne sind jedoch die übrigen Befunde (s. Rösch, 2013, S. 301 ff.) als höchst problematisch anzusehen.

7.12.3 Schulpraktische Implikationen

Das Fehlen didaktisch-methodischer Hinweise zur Einführung und Förderung experimenteller Kompetenzen in den zugehörigen Lehrerbänden und eines entsprechenden Informations- und Lernangebots in den Schulbüchern (vgl. Rösch, 2013) überrascht: Bereits vor Einführung der Bildungspläne von 2004 (MKJS, 2004) bzw. 2016 (MKJS, 2016 d) existierten verschiedene Publikationen, welche diese Lücke schließen geholfen und wertvolle Anregungen zur Gestaltung von Experimentalunterricht geliefert hätten – u. a. Carey et al. (1989), Chen & Klahr (1999), Ehmer (2008), Hameyer und Strenge (1988 a, b), Klahr und Nigam (2004), gefolgt u. a. von Schmiemann und Mayer (2013), Stäudel (2006), Stäudel und Mogge (2008) sowie Stäudel et al. (2006).

Bedeutame Erkenntnisse der naturwissenschafts-didaktischen Forschung und die konzeptionellen, teilweise bereits in der Schulpraxis bewährten Ansätze gilt es, in Lehrerhandreichungen sowie Schulbüchern und anderen Lernmedien einfließen zu lassen und den Lehrkräften zugänglich zu machen. Ein solcher unterstützender und v. a. aktualisierender Input ist

angesichts der eingeschränkten oder nicht mehr zeitgemäßen didaktisch-methodischen Qualifikation vieler Naturwissenschaftslehrkräfte besonders bedeutsam: Ein Ausbau von kompetenzorientierten Fortbildungen, v. a. für bereits länger praktizierende bzw. fachfremd unterrichtende Lehrkräfte (vgl. Bäuerlein, 2016, S. 6; Busch & Woest, 2016, S. 271; Muckenfuß, 2010; Sommer, 2014, S. 54), sowie eine verbesserte Ausrichtung von Lehramtsstudium (vgl. Huang, 2008, S. 317; Krämer et al., 2013) und Referendariat am aktuellen Stand fachdidaktischer Forschung sind darüber hinaus wichtige Ziele, die zu einer Verbesserung von Naturwissenschaftsunterricht beitragen könnten (vgl. Hattie, 2013, S. 143 ff.; Klos, 2008, S. 107). Mit Blick auf viele fachfremd unterrichtende Naturwissenschaftslehrkräfte (vgl. Berck & Graf, 2010, S. 165) und den allgemeinen Wunsch nach Fortbildungen mit „innovative[n] Inhalte[n], [...] direkte[r] unterrichtspraktische[r] Relevanz“ und „ein[em] Wechsel von Theorie und Praxisphasen“ (Wenning, Hülsken & Sandmann, 2013, S. 41) könnten Materialien und Befunde der Teilstudien des Verfassers herangezogen werden, um bei Lehrkräften ein Bewusstsein für experimentelle Teilkompetenzen zu schulen. Dieses ist eine Voraussetzung für gezielte Maßnahmen der Förderung und Diagnostik entsprechender Fähigkeiten in Form adäquater Lernaktivitäten bzw. Prüfungsaufgaben (vgl. Hammann, 2006a; Stäudel, 2006, S. 181 f.) und ein Impuls, Unterricht stärker kompetenzorientiert zu planen und zu reflektieren (vgl. Maiseyenko, 2014; Nawrath et al., 2011, S. 43).

Dass Kriterien der externen Validität wie *Beobachtungsdauer* und *Stichprobengröße* in experimentellen Lernaufgaben in Schulbüchern und Handreichungen für Lehrkräfte in der Orientierungsstufe praktisch nicht zu finden sind (vgl. Rösch, 2013, S. 302 f.), erscheint angesichts der vermutlich in dieser Altersstufe begrenzten Förderbarkeit (vgl. Rösch, 2015; Roesch et al., 2015) und der Vorschläge für die Gestaltung von Spiralcurricula (vgl. Mayer & Ziemek, 2006; Meyer, 1978; Moisl, 1988) angemessen. In höheren Klassenstufen sollten diese Aspekte aber unbedingt thematisiert werden, wie die Studie von Arnold et al. (2013) nahelegt.

Derzeit wird oft die bildungspolitische Intention artikuliert, den Anteil neuer Medien in Lernumgebungen zu erhöhen, was medienwirksam mit „Digitale Schule – vernetztes Lernen“ (Groß, 2017, S. 159), „Digitalisierung des Schulunterrichts“, „Cyber-Classroom[s]“, „virtuelle[n] Klassenzimmer[n]“ (Ruf, 2017, S. 4) oder „digitalen Klassenzimmern“ (Herpell, 2017, S. 2) umschrieben wird. Angesichts dessen ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass entgegen den Prognosen von vor knapp zwei Jahrzehnten (vgl. Gropengießer, 2013 b, S. 390) die Bedeutung gedruckter Schulbücher zugunsten von rascher modifizierbarer Software für Laptops, Tablet-PCs und Smartphones zurückgehen könnte. Dafür sprechen nicht nur die zahlreichen Stärken des Einsatzes digitaler Medien aus lernpsychologischer Sicht (vgl. Ruf, 2017, S. 4), sondern auch die Möglichkeit, verschiedene andere Medien zu kombinieren oder multimedial

zu ersetzen sowie mit Whiteboards oder anderen technischen Hilfsgeräten Daten von Lernenden und Lehrenden zusammenzuführen und zu präsentieren (vgl. Berck & Graf, 2010, S. 197 ff.). Eine solche Innovation hat den Vorteil, dass entsprechende digitale Medien verglichen mit Printmedien einfacher und in einem kürzeren Zeitraum aktualisiert und so um neuere fachdidaktische Konzepte ergänzt werden könnten. Ruf (2017, S. 4) betont, wie bedeutsam vor diesem Hintergrund eine veränderte Aus- und Fortbildung von Lehrkräften hinsichtlich dieser medialen Weiterentwicklung von Unterricht ist, auch, wenn es „Bücher, Bleistifte, Geodreieck sowie Kreide an der Tafel [...] weiter geben“ wird (Lehrer Zimmermann, zitiert nach Ruf, 2017, S. 4; vgl. auch Groß, 2017, S. 159).

7.12.4 Ausblick

Wie im Einzelbeitrag (Rösch, 2013, S. 304) bereits festgestellt, ist die Generalisierbarkeit der Befunde der Analyse von Schulbüchern und Lehrerbänden angesichts der kleinen und bundeslandspezifischen Stichprobe begrenzt. Es wäre daher vonnöten, die Analyse auszuweiten – auf weitere Bundesländer, Schulbuchreihen und Klassenstufen. In diesem Zusammenhang wäre es interessant zu untersuchen, inwiefern innerhalb von Schulbuchreihen der Spiralcurriculum-Gedanke schlüssig, systematisch und konzeptionell sinnvoll sowie praktikabel umgesetzt wird.

Mit Blick auf den neu implementierten Bildungsplan (MKJS, 2016 a, b, d), der in der Sekundarstufe I an baden-württembergischen Schulen im Fächerverbund BNT („Biologie, Naturwissenschaften und Technik“) eine Einführung zentraler naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen vorsieht, sind zwei Forschungsdesiderate offensichtlich, die mittels Schulbuchanalysen zu beantworten sind: Erstens, ob und in welcher Weise die von Rösch (2013) in der Vorgängergeneration von Schulbüchern und Lehrerhandreichungen diagnostizierten und den betreffenden Verlagen mitgeteilten Schwächen inzwischen behoben wurden. Zweitens stellt sich die Frage, wie dem Phänomen begegnet wird, dass der Aufbau experimenteller Problemlösefähigkeit längerfristige Maßnahmen erfordert, es also nicht mit der Thematisierung von Erkenntnismethoden zu Beginn der Orientierungsstufe getan ist. So ist zu fragen, wie in den für den neuen Bildungsplan von 2016 konzipierten Schulbüchern eine Wiederholung, Vertiefung und Erweiterung der experimentellen Kompetenzen in verschiedenen Domänen und über die Schuljahre hinweg verwirklicht werden. Auf diese Weise wären eine stärkere Flexibilisierung und ein besserer Transfer des Wissens durch „Entkontextualisieren“ (Mietzel, 2007, S. 337 ff.) und weitere kognitiv aktivierende Übungen möglich.

In Verbindung mit einer differenzierteren Interventionsstudie, die in der Lage wäre, die Einflüsse der Kontextorientierung des Experimentalunterrichts differenzierter zu analysieren, wäre es interessant, in einer Untersuchung aktueller Unterrichtsmedien den Grad der Berücksichtigung von Kontexten und der Kombination von mehreren Kompetenzbereichen im Experimentalunterricht zu beleuchten und auf der Grundlage dieser Befunde Empfehlungen auszusprechen, in welchem Maß dies mit Blick auf die Effizienz des Unterrichts sinnvoll ist oder nicht.

7.13 Zusammenfassung des Kapitels

In Kapitel 7 wurden abschließend die Befunde der eigenen Studien vor dem Hintergrund der Erkenntnisse aus der naturwissenschaftsdidaktischen Unterrichtsforschung der letzten Jahrzehnte beleuchtet und diskutiert.

Gezeigt hat sich dabei ein hohes Maß an Komplexität im System *Naturwissenschaftsunterricht* (vgl. Abschnitt 4.1, Abb. 4-1). Die *Zielkriterien* experimenteller Problemlösefähigkeit leiten sich nicht nur von übergeordneten Bildungszielen ab, sondern müssen auch auf die *Lernvoraussetzungen* der Schülerinnen und Schüler und die Art und Weise von deren *Verarbeitungsprozesse* sowie auf spirallcurriculare Setzungen abgestimmt sein. Allein auf der Ebene der *Unterrichtsprozesse* konnten zahlreiche Einflussgrößen ausgemacht werden, die in Verbindung mit *Medien* und den *Eigenschaften der Lehrkraft*, darunter professionelle Kompetenzen, aber auch Einstellungen und soziale Komponenten in der Interaktion mit der Klasse sowie unter den Lernenden selbst die Wirksamkeit des Forschenden Lernens befördern oder limitieren können (vgl. Kapitel 4). In der eigenen Interventionsstudie konnte, resultierend aus dem Forschungsdesign, weder eindeutig qualitativ noch quantitativ geklärt werden, welche Ursache(n) die Performanz der einzelnen fokussierten Kompetenzen maßgeblich beeinflussten. Mit hoher Wahrscheinlichkeit lassen sich wohl auch nicht einzelne Faktoren benennen, die isoliert die beobachteten Lerneffekte bzw. deren Ausbleiben verursacht haben. Vielmehr liegt vermutlich ein „Wechselspiel verschiedener Einflussgrößen“ (Wilhelm & Hopf, 2014, S. 33; vgl. auch ebd., S. 35) vor. Auch wurde offenbar, dass die Evaluationsbefunde von Wirkungsstudien in starkem Maße von den Testgütekriterien (darunter auch von der Sensitivität) der eingesetzten Messinstrumente bzw. von der Art des Assessmentverfahrens selbst abhängig sind und die Messung der Performanzentwicklung immer nur bruchstückhaft erfolgen kann.

Neben dem kaum vorhandenen *Domänenwissen* der untersuchten Klassenstufe scheinen besonders die Aspekte *kognitive Belastung* durch den herausfordernden *Kontext*, die zu große Zahl gleichzeitig verfolgter *Unterrichtsziele* (auch im Rahmen der Bildung für nachhaltige Entwicklung) sowie die begrenzte *time on task* als die Effektivität limitierende Faktoren in

Frage zu kommen.

Zusammenfassend ist festzustellen: während die Befunde der Analyse von Schulbüchern und Lehrerhandreichungen klaren Handlungsbedarf aufgezeigt haben (Rösch, 2013), erlauben in der Interventionsstudie (Rösch, 2015; Roesch et al., 2015; Rösch et al., 2012) neben den offensichtlichen allgemeinen Erfahrungen mit der komplexen Domäne *Ökologie* im Zusammenhang mit der Unterrichtsplanung und Gestaltung einer anspruchsvollen problemorientierten Lernumgebung die Befunde indes zumindest, einige grobe hypothetische, tentative Antworten auf manche der Forschungsfragen (s. Abschnitt 6.1.7) zu skizzieren.

Spätestens seit der Jahrtausendwende heben auch im deutschsprachigen Raum viele Fachdidaktiker (darunter Parchmann, 2009) *Kontextorientierung* angesichts positiver Effekte auf manche Zielkriterien von Naturwissenschaften im Hinblick auf *Scientific Literacy* als wichtiges Unterrichtsprinzip von Naturwissenschaftsunterricht hervor. Dabei wird der Ansatz *Lernen im Kontext* nicht selten in höchsten Tönen gelobt. Lehrkräfte werden inspiriert, Lehr-Lernprozesse bestmöglich in authentische Lernkontexte einzubetten. Viele Lehrpersonen sind vermutlich auch davon überzeugt, dass dies der Erreichung von Zielkriterien ihres Unterrichts sehr dienlich sei. Zwar gibt es seit längerem auch Stimmen, welche die überschwängliche, wenig reflektierte ‚Kontext-Euphorie‘ bremsen und einen differenzierte(re)n Blick darauf angesichts Chancen *und* Risiken fordern (vgl. Abschnitt 4.8.6.6). Die Nachteile einer zu intensiven Kontextualisierung von Lernumgebungen zeigten sich im Rahmen der eigenen Wirkungsstudie sehr eindrücklich. Kontextbasiertes Lernen mag sinnvoll sein – bei der Einführung grundlegender Kompetenzen in einer quasi unbekanntem und zudem komplexen Domäne sollte es allerdings auf ein niedriges Maß reduziert werden. Zu späteren Zeitpunkten, nach genügend Einübung der erforderlichen experimentellen Kompetenzen und Gelegenheit zu deren Transfer sowie nach dem ausreichenden Erwerb von Domänenwissen, kann der Umfang des Kontextbezugs gesteigert werden. Kontexte entfalten erst dann das volle Potenzial, das ihnen auch z. B. hinsichtlich der Kompetenzbereiche *Bewertung* und *Kommunikation* innewohnt.

In dieser Arbeit und in den Einzelbeiträgen konnten zahlreiche Desiderate anhand konkreter Beispiele in einem zentralen Feld naturwissenschaftlicher Unterrichtsforschung hergeleitet und aufgezeigt werden, denen sich künftige Studien weiter widmen sollten. Besonders interessant erscheint die weitere Untersuchung der Bedeutung systemischen Denkens für andere Zielkriterien von Naturwissenschaftsunterricht. Auf der Grundlage des Forschungsstands konnten darüber hinaus konzeptionelle Impulse (s. Rösch, 2012; Abschnitt 7.8) gegeben werden.

8 Quellenverzeichnis

- A Campo, A., Langlet, J., Kremer, M. & Philipp, W. et al. (2004). Naturwissenschaften besser verstehen, Lernhindernisse vermeiden. Anregungen zum gemeinsamen Nutzen von Begriffen und Sprechweisen in Biologie, Chemie und Physik (Sekundarbereich I). *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 57 (3), III-XV.
- A Campo, A. & Langlet, J. (2005). Arbeiten mit den Bildungsstandards im Fach Biologie fachspezifisch und fächerübergreifend, dimensioniert und niveauvoll. Empfehlungen für die Umsetzung der KMK-Standards Biologie S I. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)* (8 (Dez. 2005)), III-XVIII.
- Abd-El-Khalick, F. (2006). Over and over again: College Students' Views of Nature of Science. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Hrsg.), *Scientific Inquiry and Nature of Science. Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education* (S. 389-425). Dordrecht (Niederlande): Springer.
- Abd-El-Khalick, F. & Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22 (7), 665-701.
- Abell, S. K. & Lederman, N. G. (Hrsg.). (2007). *Handbook of research on science education*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Adamina, M., Labudde, P. & Gingins, F. et al. (Hrsg.). (2008). *HarmoS Naturwissenschaften+. Kompetenzmodell und Vorschläge für Bildungsstandards. Wissenschaftlicher Schlussbericht*. Bern: Büro CLIP.
- Aebli, H. (1998). *Zwölf Grundformen des Lehrens. Eine allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage ; Medien und Inhalte didaktischer Kommunikation, der Lernzyklus* (10. Aufl.). Stuttgart: Klett-Cotta.
- Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J. & Tenenbaum, H. R. (2011). Does Discovery-Based Instruction Enhance Learning? *Journal of Educational Psychology*, 103 (1), 1-18.
- Alfs, N. & Hößle, C. (2012). Ethisches Bewerten fördern - Ergebnisse einer qualitativen Untersuchung zum Fachdidaktischen Wissen von Biologielehrkräften zum Kompetenzbereich Bewertung. In U. Harms & F. X. Bogner (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. "Didaktik der Biologie - Standortbestimmung und Perspektiven". Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Bayreuth, 2011* (Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik, Bd. 5, S. 117-131). Innsbruck: Studienverlag.
- Allman, H. (2009). *Die besten Experimente für Kinder*. München: Bassermann.
- Altenberger, H., Schettgen, P. & Scholz, M. (Hrsg.). (2003). *Innovative Ansätze konstruktiven Lernens* (Praktische Erlebnispädagogik). Augsburg: ZIEL - Zentrum für interdisziplinäres erfahrungsorientiertes Lernen GmbH.
- Altenburger, P. & Starauschek, E. (2011). Welchen Anteil haben physikalische Themen am Sachunterricht in Klasse 3 und 4? In D. Höttecke (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Potsdam 2010* (232-234). Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Amthor, U. (2006). Säuren und Basen. Das Experiment als zentrales naturwissenschaftliches Instrument. *Unterricht Chemie*, 17 (94/95), 38-41.
- Anonymus. (2005). Staunen und Fragen. Ein Plädoyer für das Experiment. *lernchancen* (47), 4-5.
- Anton, M. A., Heimann, R. & Rossa, E. (2005). Experimente im Chemieunterricht. In E. Rossa (Hrsg.), *Chemie-Didaktik. Praxis-handbuch für die Sekundarstufe I und II* (S. 12-73). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Antunes, S. C. & Goncalves, A. M. M. (2008). Edaphic Fauna as Tool to Perceive Biodiversity. A Stepwise Learning Experience. In U. M. Azeiteiro, F. Goncalves, R. Pereira, M. J. Pereira, W. L. Filho & F. Morgado (Hrsg.), *Science and environmental education. Towards the integration of science education, experimental science activities and environmental education* (Environmental education, communication and sustainability, Vol. 27, S. 175-190). Frankfurt am Main: Lang.
- Arnold, J. (2015). *Die Wirksamkeit von Lernunterstützungen beim Forschenden Lernen. Eine Interventionsstudie zur Förderung des Wissenschaftlichen Denkens in der gymnasialen Oberstufe* (Biologie lernen und lehren, Bd. 10). Berlin: Logos.
- Arnold, J., Köller, O., Neumann, I., Petersen, S., Ringelband, U., Schütte, K. et al. (Hrsg.). (2016), *IPN Research Report 2015/16*. Kiel: Schmidt & Klaunig / IPN.
- Arnold, J. & Kremer, K. (2012). Lipase in Milchprodukten. Schüler erforschen die Temperaturabhängigkeit von Enzymen. *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule*, 61 (7), 15-21.
- Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2013). Wissenschaftliches Denken beim Experimentieren - Kompetenzdiagnose in der Sekundarstufe II. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 11, 7-20. Zugriff am 03.08.2013. Verfügbar unter <http://www.bcp.fu-berlin.de/biologie/arbeitsgruppen/didaktik/Erkenntnisweg/2012/Arnold.pdf?1362740309>
- Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2014). Schüler als Forscher. Experimentieren kompetenzorientiert unterrichten und beurteilen. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 67 (2), 83-91.
- Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2015). Forschendes Lernen mit Lernunterstützungen durch Concept Cartoons. In U. Gebhard, M. Hammann & B. Knälmann (Hrsg.), *Abstractband "Bildung durch Biologieunterricht". 20. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBio und des Forums Fachdidaktik & Schulbiologie. 14.-17. September 2015. Universität Hamburg* (S. 101-102). Hamburg: Online-Veröffentlichung: <http://bildungdurchbiologie2015.de/Abstractband.pdf>.
- Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2016). Concept Cartoons als diskursiv-reflexive Szenarien zur Aktivierung des Methodenwissens beim Forschenden Lernen. *Biologie Lehren und Lernen - Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)*, 20 (1), 33-43. Zugriff am 02.01.2017. Verfügbar unter <http://zdb.uni-bielefeld.de/index.php/zdb/article/view/324/Concept%20Cartoons%20als%20diskursiv-reflexive%20Szenarien%20zur%20Aktivierung%20des%20Methodenwissens%20beim%20Forschenden%20Lernen>
- Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2016). Scaffolding beim Forschenden Lernen. Eine empirische Untersuchung zur Wirkung von Lernunterstützungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. Zugriff am 09.03.2017. Verfügbar unter <http://download.springer.com/static/pdf/717/art%253A10.1007%252Fs40573-016-0053-0.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Farticle%2F10.1007%2Fs40573-016-0053-0&token2=exp=1489091180~acl=%2Fsta->

tic%2Fpdf%2F717%2Fart%25253A10.1007%25252Fs40573-016-0053-0.pdf%3ForiginUrl%3Dhttp%253A%252F%252Flink.springer.com%252Farticle%252F10.1007%25252Fs40573-016-0053-0*-hmac=5ebbd97e5d5a4c77ab7b3202ba94e30a78cd66e512ac98f6e11822735ab6bd12

- Arnold, K.-H. & Neber, H. (2008). Themenschwerpunkt Aktiver Wissenserwerb. Editorial. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 22 (2), 113-117.
- Artelt, C., Demmrich, Anke & Baumert, J. (2001). Selbstreguliertes Lernen. In J. Baumert, E. Klieme, M. Neubrand, M. Prenzel, U. Schiefele, W. Schneider et al. (Hrsg.), *PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich* (S. 271-298). Opladen: Leske + Budrich.
- Asmussen, S. (2007). *Interaktives Lernen an Stationen im Primarbereich. Eine zweistufige quasiexperimentelle Evaluationsstudie der Langzeitwirksamkeit eines naturwissenschaftlichen Bildungsprojektes*, Universität Flensburg. Zugriff am 25.08.2016. Verfügbar unter <https://www.zhb-flensburg.de/fileadmin/content/spezial-einrichtungen/zhb/dokumente/dissertationen/asmussen/gesamt.pdf>
- Aufdermauer, A. & Hesse, M. (2006). Die Meinung von Schülerinnen und Schülern zu ihrem Biologie-Schulbuch und zu Schulversuchen. *Berichte des Institutes für Didaktik der Biologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, IDB* (15), 105-112.
- Aufdermauer, A. & Hesse, M. (2006). Eine Analyse von Biologie-Schulbüchern - unter besonderer Berücksichtigung des Experimentierens mit Pflanzen. *Berichte des Institutes für Didaktik der Biologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, IDB* (15), 1-32.
- Aufschnaiter, C. von. (2008). Mithilfe von Experimenten lernen - (wie) geht das? Experimentierserien als systematischer Zugang zu physikalischen Konzepten. *Unterricht Physik*, 19 (108), 4-9.
- Aufschnaiter, C. von (2014). Laborstudien zur Untersuchung von Lernprozessen. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 81-94). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Aufschnaiter, C. von & Blömeke, S. (2010). Professionelle Kompetenz von (angehenden) Lehrkräften erfassen – Desiderata. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 361-367.
- Aufschnaiter, C. von, Dübbele, G., Cappell, J., Ennemoser, M., Mayer, J., Stiensmeier-Pelster, J. et al. (2009). Professionsorientierte Lehrerbildung - Horizontale und vertikale Vernetzung fachdidaktischer, pädagogisch-psychologischer und schulpraktischer Ausbildungsanteile zum Aufbau diagnostischer Kompetenzen. *SEMINAR - Lehrerbildung und Schule*, 15 (3), 77-86.
- Aufschnaiter, C. von & Hofmann, J. (2014). Kompetenz und Wissen. Wechselseitige Zusammenhänge und Konsequenzen für die Unterrichtsplanung. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 67 (1), 10-16.
- Aufschnaiter, C. von & Riemeier, T. (2005). Experimente im naturwissenschaftlichen Unterricht. *lernchancen* (47), 6-10.
- Aufschnaiter, C. von & Riemeier, T. (2005). Sammelrezension: Experimentierbücher, *lernchancen* (46), 61-63.
- Azeiteiro, U. M., Goncalves, F., Pereira, R., Pereira, M. J., Filho, W. L. & Morgado, F. (Hrsg.). (2008). *Science and environmental education. Towards the integration of science education, experimental science activities and environmental education* (Environmental education, communication and sustainability, Vol. 27). Frankfurt am Main: Lang.
- Backhaus, U. & Braun, T. (2009). Impulse für offenes Experimentieren. Forschendes Lernen in der Physik. In R. Messner (Hrsg.), *Schule forscht. Ansätze und Methoden zum forschenden Lernen* (S. 106-121). Hamburg: Ed. Körber-Stiftung.
- Bader, R. (1993). Science and culture in Germany: is there a case? In J. Durant & J. Gregory (Hrsg.), *Science and Culture in Europe* (S. 47-52). London: (Trustees of the) Science Museum.
- Baer, A., Habicht, E. & VdS Bildungsmedien e. V. (Hrsg.). (2006), *Von der Reform zum besseren Unterricht. Beiträge und Diskussionen zur nachhaltigen Neuordnung von Lernprozessen*. Frankfurt.
- Baer, M., Kocher, M., Wyss, C. & Guldemann, T. (2015). Kognitive Aktivierung der Lernenden als (fach-)didaktisches Ziel. Was zeigt der Blick in den Unterricht? In U. Riegel, S. Schubert, G. Siebert-Otto & K. Macha (Hrsg.), *Kompetenzmodellierung und Kompetenzmessung in den Fachdidaktiken* (Fachdidaktische Forschungen, Bd. 7, S. 177-196). Münster, New York: Waxmann.
- Bagoly-Simó, P. (2014). Implementierung von Bildung für nachhaltige Entwicklung in den Fachunterricht im internationalen Vergleich. In M. M. Müller, I. Hemmer & M. Trappe (Hrsg.), *Nachhaltigkeit neu denken. Rio+X: Impulse für Bildung und Wissenschaft* (S. 181-188). München: Oekom.
- Baier, H. (2001). Schule im ökologischen, ökopädagogischen und ökopädagogischen Kontext. In H. Baier & S. Wittkowske (Hrsg.), *Ökologisierung des Lernortes Schule* (S. 13-28). Bad Heilbrunn/Obb.: Julius Klinkhardt.
- Bannert, M. & Reimann, P. (2009). Metakognitives Fördern des Lernens mit digitalen Medien durch Prompting-Maßnahmen. In R. Plötzner, T. Leuders & A. Wichert (Hrsg.), *Lernchance Computer. Strategien für das Lernen mit digitalen Medienverbänden* (S. 67-87). Münster: Waxmann.
- Barmeier, M., Beck, H., Bergau, M., Ciprina, H. J., Grob, P., Hell, K. et al. (2007). *Forschen wie die Forscher. Methodenheft für die Naturwissenschaften. Sekundarstufe I*. Stuttgart: Klett.
- Barwig, K. & Schmid, D. (Hrsg.). (2006). *Nachhaltigkeit - Strategien in den Kirchen. Ein Beitrag zur UN-Dekade "Bildung für nachhaltige Entwicklung"* (Hohenheimer Protokolle, Bd. 63). Stuttgart: Akademie der Diözese Rottenburg-Stuttgart.
- Barzel, B., Büchter, A. & Leuders, T. (2009). *Mathematik-Methodik. Handbuch für die Sekundarstufe I und II* (4. Aufl.). Berlin: Cornelsen-Scriptor.
- Barzel, B., Holzäpfel, L., Leuders, T. & Streit, C. (2011). *Mathematik unterrichten: Planen, durchführen, reflektieren. Mit Kopiervorlagen*. Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Barzel, B., Reinthoffer, B. & Schrenk, M. (2012). Das Experimentieren im Unterricht. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 103-127). Münster: Waxmann.
- Bauer, J. (2010). Die Bedeutung der Beziehung für schulisches Lehren und Lernen. Eine neurobiologisch fundierte Perspektive. *Pädagogik*, 62 (7/8), 6-9.
- Bauer, J. (2017). Die pädagogische Beziehung: Neurowissenschaften und Pädagogik im Dialog. Ein Überblick unter besonderer Berücksichtigung der Vorschulzeit. *Lehren & Lernen*, 43 (1), 4-10.

- Bauerlein, U. (2016, 19. November). Lehrerqualifikation: Ausbildung gut, Fortbildung mau. *Ludwigsburger Kreiszeitung*, S. 6.
- Baumann, M., Simon, U., Wonisch, A. & Guttenberger, H. (2013). Computersimulation versus Experiment. Gibt es Unterschiede im Erzeugen nachhaltigen Wissens und in der Attraktivität für die Schüler? *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 66 (5), 305-310.
- Baumann, S., Schmiemann, P. & Sandmann, A. (2013). Selbständiges Experimentieren im Biologieunterricht mithilfe von Beispielaufgaben. In J. Mayer, M. Hammann, N. Wellnitz, J. Arnold & M. Werner (Hrsg.), *Theorie - Empirie - Praxis. Abstractband. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBiO, 16.09. - 20.09.2013, Universität Kassel* (S. 214-215). Kassel: kassel university press.
- Baumann, S. J. (2014). *Selbständiges Experimentieren und konzeptuelles Lernen mit Beispielaufgaben in Biologie*. Berlin: Logos.
- Baumert, J., Bos, W. & Watermann, R. (1998). *TIMSS III. Schülerleistungen in Mathematik und den Naturwissenschaften am Ende der Sekundarstufe II im internationalen Vergleich*. Verfügbar unter <http://library.mpib-berlin.mpg.de/dl/Studien/index.php?%20nummer=64&seite=30&teil=>
- Baumert, J., Lehmann, R. & Lehrke, M. e. a. (1998). *Testaufgaben Naturwissenschaften TIMSS 7./8. Klasse (Population 2)*. Verfügbar unter <http://library.mpib-berlin.mpg.de/dl/Materialien/index.php?nummer=61&seite=6&teil=>
- Baumert, J., Artelt, C., Klieme, E. & Stanat, P. (2002). PISA - Programme for International Student Assessment. Zielsetzung, theoretische Konzeption und Entwicklung von Messverfahren. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen* (Beltz Pädagogik, 2., unveränd. Aufl., Dr. nach Typoskript., S. 285-310). Weinheim: Beltz.
- Baumert, J., Bos, W., Brockmann, J., Gruehn, S., Klieme, E., Köller, O. et al. (2000). *TIMSS/III-Deutschland: Der Abschlussbericht. Zusammenfassung ausgewählter Ergebnisse der Dritten Internationalen Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie zur mathematischen und naturwissenschaftlichen Bildung am Ende der Schullaufbahn*. Zugriff am 26.05.2015. Verfügbar unter <http://www.landeselternrat-sachsen.de/fileadmin/ler/daten/07gesetz/02studien/0011.TIMSSIII-Broschuere.pdf>
- Baumert, J., Bos, W., Brockmann, J., Gruehn, S., Klieme, E., Köller, O. et al. (2000). *TIMSS/III-Deutschland: Der Abschlussbericht. Zusammenfassung ausgewählter Ergebnisse der Dritten Internationalen Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie zur mathematischen und naturwissenschaftlichen Bildung am Ende der Schullaufbahn*. Zugriff am 26.05.2015. Verfügbar unter <http://www.landeselternrat-sachsen.de/fileadmin/ler/daten/07gesetz/02studien/0011.TIMSSIII-Broschuere.pdf>
- Baumert, J., Bos, W. & Lehmann, R. (Hrsg.). (2000). *TIMSS/III. Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie - Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Band 1: Mathematische und naturwissenschaftliche Grundbildung am Ende der Pflichtschulzeit*. Opladen: Leske + Budrich.
- Baumert, J., Bos, W. & Watermann, R. (1999). *TIMSS/III. Schülerleistungen in Mathematik und den Naturwissenschaften am Ende der Sekundarstufe II im internationalen Vergleich. Zusammenfassung deskriptiver Ergebnisse* (Studien und Berichte / Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Bd. 64, 2., überarb. Aufl.). Berlin: Max-Planck-Inst. für Bildungsforschung. Verfügbar unter <http://www.gbv.de/dms/hebis-darmstadt/toc/9038668X.pdf>
- Baumert, J., Bos, W. & Watermann, R. (2000). Mathematisch-naturwissenschaftliche Grundbildung im internationalen Vergleich. In J. Baumert, W. Bos & R. Lehmann (Hrsg.), *TIMSS/III. Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie - Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Band 1: Mathematische und naturwissenschaftliche Grundbildung am Ende der Pflichtschulzeit* (Bd. 1, S. 135-197). Opladen: Leske + Budrich.
- Baumert, J., Brunner, M., Lüdtke, O. & Trautwein, U. (2007). Was messen internationale Schulleistungsstudien? - Resultate kumulativer Wissenserwerbsprozesse. Eine Antwort auf Heiner Rindermann. *Psychologische Rundschau*, 58 (2), 118-145.
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W. et al. (Hrsg.). (2001). *PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen: Leske + Budrich. Verfügbar unter <http://www.dandelon.com/intelligentSEARCH.nsf/alldocs/60DF652F6B303A3EC1256D2E004EA3D6/>
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W. et al. (OECD - PISA Deutschland / Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Hrsg.). *Erfassung fächerübergreifender Problemlösekompetenzen in PISA*. Zugriff am 20.05.2010. Verfügbar unter <http://www.mpib-berlin.mpg.de/PISA/Problemloesen.pdf>
- Baumert, J. & Köller, O. (2000). Unterrichtsgestaltung, verständnisvolles Lernen und multiple Zielerreichung im Mathematik- und Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. In J. Baumert, W. Bos & R. Lehmann (Hrsg.), *TIMSS/III. Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie - Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Band 1: Mathematische und naturwissenschaftliche Grundbildung am Ende der Pflichtschulzeit* (Bd. 2, S. 271-315). Opladen: Leske + Budrich.
- Baumert, J. & Kunter, M. (2011). Das Kompetenzmodell von COAKTIV. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 29-53). Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Baumert, J., Lehmann, R. H., Lehrke, M., Schmitz, B., Clausen, M., Hosenfeld, I. et al. (1997). *TIMSS - mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Deskriptive Befunde*. Opladen: Leske + Budrich.
- Baur, A. (2015). Problembereiche von Schüler/innen bei der experimentellen Methode. In U. Gebhard, M. Hammann & B. Knälmann (Hrsg.), *Abstractband "Bildung durch Biologieunterricht". 20. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBio und des Forums Fachdidaktik & Schulbiologie. 14.-17. September 2015. Universität Hamburg* (S. 32-33). Hamburg: Online-Veröffentlichung: <http://bildungdurchbiologie2015.de/Abstractband.pdf>.
- Baur, A. (2016). Problempunkte von Schülerinnen und Schülern bei der experimentellen Methode - Manuelle Fehler, methodische Fehler und Fehlkonzepte. In U. Gebhard & M. Hammann (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. "Bildung durch Biologieunterricht". Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBiO, Hamburg 2015* (Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik, Bd. 7, S. 191-205). Innsbruck: Studienverlag.
- Bäurle, W., Barmer, M., Boldt, J., Gietz, P., Heitland, W., Hell, K. et al. (2007). *Naturwissenschaften Kompakt. Methodenheft. Gymnasium Sekundarstufe I*. Stuttgart: Klett.
- Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.). (2004). *Forstliche Bildungsarbeit – Waldpädagogischer Leitfaden nicht nur für Förster* (6. Aufl.). München.
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, G. u. V. & Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (Hrsg.). (2006). *Lernort Boden*. München. Zugriff am 07.04.2011. Verfügbar unter <http://www.stmugv.bayern.de/umwelt/boden/lernort/index.htm>

- Bayrak, C., Hoffmann, L. & Ralle, B. (2015). Sprachliches und fachliches Lernen im Experimentalunterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 68 (3), 177-182.
- Bayrhuber, H., Hlawatsch, S., Hildebrandt, K., Lucius, E. R., Raack, N., Siemer, F. et al. (2004). Das System Erde im fächerübergreifenden Biologieunterricht. *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule.*, 53 (3/53), 1-5.
- Bayrhuber, H., Bögeholz, S., Eggert, S., Elster, D., Grube, C., Höfle, C. et al. (2007). Biologie im Kontext - Erste Forschungsergebnisse. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 60 (5), 304-313.
- Bayrhuber, H., Bögeholz, S., Elster, D., Hammann, M., Höfle, C., Lücken, M. et al. (2007). Biologie im Kontext. Ein Programm zur Kompetenzförderung durch Kontextorientierung im Biologieunterricht und zur Unterstützung von Lehrerprofessionalisierung. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 60 (5), 282-286.
- Bayrhuber, H., Elster, D., Krüger, D. & Vollmer, H. J. (Hrsg.). (2007). *Kompetenzentwicklung und Assessment* (Forschungen zur Fachdidaktik, Bd. 9). Innsbruck: StudienVerlag.
- Bayrhuber, H., Harms, U., Krüger, D., Sandmann, A., Unterbruner, U., Upmeyer zu Belzen, Annette et al. (Hrsg.). (2007). *Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Abstracts. Internationale Tagung der Fachgruppe Biologiedidaktik im VBIO - Verband Biologie, Biowissenschaften & Biomedizin. 16.09. bis 20.09.2007 in Essen*. Essen.
- Bayrhuber, H., Harms, U., Muszynski, B., Ralle, B., Rothgangel, M., Schön, L.-H. et al. (Hrsg.). (2011). *Empirische Fundierung in den Fachdidaktiken* (Fachdidaktische Forschungen, Bd. 1). Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Bayrhuber, H. & Unterbruner, U. (Hrsg.). (2000). *Lehren und Lernen im Biologieunterricht*. Innsbruck: Studien Verlag.
- Beerenwinkel, A. & Totter, A. (2011). Schulbücher als Innovationsträger. Fortbildungen als eine Möglichkeit zur Verbesserung des Innovationspotentials von Schulbüchern im MINT-Unterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 64 (8 (Dez.)), 492-496.
- Behringer, M. (2011). Die Fragen sind es ... Lernumgebungen für forschendes Lernen vorbereiten. *Grundschule* (6), 24-25.
- Belenky, M. F., Clinchy, B. M., Goldberger, N. R. & Tarule, J. M. (1986). Toward an Education for Women. In M. F. Belenky, B. M. Clinchy, N. R. Goldberger & J. M. Tarule (Hrsg.), *Women's Way of Knowing. The Development of Self, Voice, and Mind* (S. 190-213). New York: Basic Books.
- Bell, T. (2010). Das hält doch kein Pinguin aus! Forschendes Lernen zur Anpassung von Lebewesen an extreme Temperaturen. *Unterricht Physik* (119), 13 (195)-19 (201).
- Beller, S. (2008). *Empirisch forschen lernen. Konzepte, Methoden, Fallbeispiele, Tipps* (2. Aufl.). Bern: Hans Huber / Hogrefe.
- Benke, G. (2011). Forschendes Lernen in Europa. *Erziehung und Unterricht* (3-4), 284-288.
- Benke, G. (2012). Gender im naturwissenschaftlichen Unterricht. In M. Kampshoff & C. Wiepcke (Hrsg.), *Handbuch Geschlechterforschung Fachdidaktik* (S. 213-227). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften | Springer Fachmedien.
- Bennett, J., Hogarth, S. & Lubben, F. (2003). *A systematic review of the effects of context-based and Science-Technology-Society (STS) approaches in the teaching of secondary science: Review summary*, University of York, UK. Zugriff am 30.09.2013. Verfügbar unter <http://www.pdfio.com/k-1074390.html#>
- Bennett, J., Lubben, F. & Hogarth, S. (2006). Bringing Science to Life: A Synthesis of the Research Evidence on the Effects of Context-Based and STS Approaches to Science Teaching. *Science Education* (27), 347-370.
- Berck, K.-H. & Graf, D. (2003). *Biologiedidaktik von A bis Z. Wörterbuch mit 1000 Begriffen*. Wiebelsheim: Quelle und Meyer.
- Berck, K.-H. & Graf, D. (2005). *Biologiedidaktik. Grundlagen und Methoden* (Quelle & Meyer Biologie, 3., aktualisierte Aufl.). Wiebelsheim: Quelle & Meyer.
- Berck, K.-H. & Graf, D. (2010). *Biologiedidaktik. Grundlagen und Methoden* (4. Aufl.). Wiebelsheim: Quelle & Meyer.
- Bergs, M. & Walpuski, M. (2011). Analyse experimenteller Arbeitsweisen in realen und virtuellen Experimentierumgebungen. In D. Höttecke (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Potsdam 2010* (S. 519-521). Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Berkowitz, A. R. (1997). Defining environmental literacy: A call for action. *Bulletin of the Ecological*, 78, 170-172.
- Berkowitz, A. R., Ford, M. E. & Brewer, C. A. (2005). A framework for integrating ecological literacy, civics literacy, and environmental citizenship in environmental education. In E. A. Johnson & M. J. Mappin (Hrsg.), *Environmental education or advocacy: perspectives of ecology and education in environmental education* (S. 227-266). New York: Cambridge University Press, New York.
- Besser, L. & Heimann, R. (2017). Problemorientierter Chemieunterricht. Welche Wirkung hat er auf den Wissenserwerb von Lernenden mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU) / MNU Journal* (3), 194-200.
- Beyer, I. (2006). *Natura, Basiskonzepte Sekundarstufe I und II. Biologie für Gymnasien*. Stuttgart: Klett.
- Bik - Arbeitsgruppe Hamburg (Hrsg.). (2008?). *Biologie im Kontext - Erkenntnisgewinnung*: Online-Quelle: http://www.dok-barth.de/bda/sauck/pdf/Klasse5/Experimente_zu_Milchprodukten.pdf.
- Birkholz, J. & Elster, D. (2016). Wirkung von Reflexion über Forschungstätigkeiten im Schülerlabor auf ausgewählte Aspekte des Wissenschaftsverständnisses. In U. Gebhard & M. Hammann (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. "Bildung durch Biologieunterricht"*. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Hamburg 2015 (Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik, Bd. 7, S. 75-91). Innsbruck: Studienverlag.
- Blank, R. (1999). Urwald - Wirtschaftswald. *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie*, 48 (1), 2-6.
- Blaseio, B. (2010). Belebte Natur experimentierend erfahren. In H. Köster, F. Hellmich & V. Nordmeier (Hrsg.), *Handbuch Experimentieren* (S. 115-128). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Blömeke, S., Kaiser, G. & Lehmann, R. (2011). Messung professioneller Kompetenz angehender Lehrkräfte: "Mathematics Teaching in the 21st Century" und die IEA-Studie TEDS-M. In H. Bayrhuber, U. Harms, B. Muszynski, B. Ralle, M. Rothgangel, L.-H. Schön et al. (Hrsg.), *Empirische Fundierung in den Fachdidaktiken* (Fachdidaktische Forschungen, Bd. 1, S. 9-25). Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Blum, W. & Wiegand, B. (2000). Vertiefen und Vernetzen. Intelligentes Üben im Mathematikunterricht. *Friedrich Jahresheft 2000*, 106-108.

- Blumberg, E., Hardy, I. & Möller, K. (2008). Anspruchsvolles naturwissenschaftsbezogenes Lernen im Sachunterricht der Grundschule - auch für Mädchen? *Zeitschrift für Grundschulforschung*, 1 (2), 59-72.
- Bögeholz, S. (2007). Bewertungskompetenz für systematisches Entscheiden in komplexen Gestaltungssituationen Nachhaltiger Entwicklung. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biomedizinischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (Springer-Lehrbuch, S. 209-220). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Bögeholz, S. (2011). Bewertungskompetenz im Kontext Nachhaltiger Entwicklung: Ein Forschungsprogramm. In D. Höttecke (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Potsdam 2010* (S. 32-46). Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Bögeholz, S. (2013). Bewerten der Anwendung biologischer Erkenntnisse. In H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (9. Aufl., S. 71-77). Hallbergmoos: Aulis / Stark Verlagsgemeinschaft.
- Bögeholz, S., Joachim, C., Hasse, S. & Hammann, M. (2016). Kompetenzen von (angehenden) Biologielehrkräften zur Beurteilung von Experimentierkompetenzen. *Unterrichtswissenschaft*, 44 (1), 40-54.
- Böger, M. (Hrsg.). (2001), *Lebensräume und ihre Bewohner. Materialien- und Lösungsheft* (Netzwerk Biologie). Hannover: Schroedel.
- Bollmann-Zuberbühler, B. & Kunz, P. (2008). Ist systemisches Denken lehr- und lernbar? In U. Frischknecht-Tobler, U. Nagel & H. Seybold (Hrsg.), *Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen* (S. 33-52). Zürich: Verlag Pestalozzianum an der Pädagogischen Hochschule Zürich.
- Bolscho, D. & Seybold, H. (1996). *Umweltbildung und ökologisches Lernen. Ein Studien- und Praxisbuch*. Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Bolte, C. & Schulte, T. (2014). Wünschenswerte naturwissenschaftliche Bildung im Meinungsbild ausgewählter Experten. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 67 (6), 370-376.
- Borgenheimer, B. & Weber, G. (2009). Fördern des strategischen Lernens beim computersimulierten Experimentieren durch Prompts. In R. Plötzner, T. Leuders & A. Wichert (Hrsg.), *Lernchance Computer. Strategien für das Lernen mit digitalen Medienverbänden* (S. 181-200). Münster: Waxmann.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation. Für Human- und Sozialwissenschaftler* (Springer-Lehrbuch-Bachelor, Master, 4., überarb. Aufl.). Heidelberg: Springer-Medizin-Verlag.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7., vollst. überarb. und erweiterte Aufl.). Heidelberg: Springer Medizin.
- Bovet, G. & Huwendiek, V. (Hrsg.). (2006). *Leitfaden Schulpraxis. Pädagogik und Psychologie für den Lehrberuf* (4., komplett überarb. Aufl.). Berlin: Cornelsen.
- Bräutigam, J. I. (2014). *Systemisches Denken im Kontext einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. Konstruktion und Validierung eines Messinstruments zur Evaluation einer Unterrichtseinheit*. Zugriff am 10.03.2014. Verfügbar unter <http://opus.bszbw.de/phfr/volltexte/2014/438/pdf/DissertationBraeutigamJulia2014.pdf>
- Brezmann, S. (2004). *Beschreiben, Erklären, Definieren und andere Erkenntnistätigkeiten. Empfehlungen und Materialien zur Nutzung von Erkenntnistätigkeiten im naturwissenschaftlichen Unterricht*. Frankfurt am Main: Haag + Herchen.
- Bromme, R., Rheinberg, F., Minsel, B., Winteler, A. & Weidenmann, B. (2006). Die Erziehenden und Lehrenden. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (5., vollst. überarb. Aufl., S. 269-355). Weinheim: Beltz PVU.
- Bruder, R. (1992). Problemlösen lernen – aber wie? Ein altes, aber nicht befriedigend gelöstes Problem. *Mathematik lehren* (52 (7/1992)), 6-12.
- Brüning, L. & Saum, T. (2009). *Erfolgreich unterrichten durch kooperatives Lernen 2. Neue Strategien zur Schüleraktivierung - Individualisierung, Leistungsbeurteilung, Schulentwicklung* (1. Aufl.). Essen: Neue-Dt.-Schule-Verl.-Ges.
- Buck, L. B., Lowery Bretz, S. & Towns, M. H. (2008). Characterizing the Level of Inquiry in the Undergraduate Laboratory. *Journal of College Science Teaching*, 38 (1 [September/October], 52-58.
- Bühl, A. (2010). *SPSS 18. Einführung in die moderne Datenanalyse* (st - Scientific tools, 12., überarb. und erw. Aufl.). München: Pearson Studium.
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion* (Pearson Studium - Psychologie, 3., aktualisierte Auflage). München: Pearson Studium ein Imprint der Pearson Education.
- Bulte, A. M. W., Westbroek, H. B., Jong, O. de & Pilot, A. (2006). A Research Approach to Designing Chemistry Education using Authentic Practices as Context. *International Journal of Science Education*, 28 (9), 1063-1086.
- Burkard, F.-P. & Weiß, A. (2008). *dtv-Atlas Pädagogik*. München: Deutscher Taschenbuch Verlag.
- Burns, B. D. & Vollmeyer, R. (2002). Goal specificity effects on hypothesis testing in problem solving. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55A (1), 241-261.
- Busch, M. & Woest, V. (2016). Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht. Empirische Befunde zu Potenzial und Grenzen aus Lehrerperspektive. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU) / MNU Journal*, 69 (4), 269-277.
- Bybee, R. W. (1997). *Achieving Scientific Literacy. From purposes to practices*. Portsmouth, N H: Heinemann / Reed Elsevier.
- Bybee, R. W. (2006). Scientific Inquiry and Science Teaching. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Hrsg.), *Scientific Inquiry and Nature of Science. Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education* (S. 1-14). Dordrecht (Niederlande): Springer.
- Bylebyl, K., Freund, K., Nessler, S. & Schlüter, K. (2010). *Selbstständiges wissenschaftliches Arbeiten im Biologieunterricht*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Campbell, N. A., Reece, J. B. & Markl, J. (2006). *Biologie* (Biologie, 6., aktualisierte Aufl.). München: Pearson Studium.
- Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E. & Unger, C. (1989). 'An experiment is when you try it and see if it works': a study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*. (Vol. 11, special issue), 514-529.
- Chen, Z. & Klahr, D. (1999). All Other Things Being Equal: Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy. *Child Development*, 70 (5 (Sept./Oct. 1999)), 1098-1120.

- Chin, C. & Chia, L.-G. (2004). Problem-Based Learning: Using Students' Questions to Drive Knowledge Construction. *Science Education*, 88 (5), 707-727.
- Chin, C. & Osborne, J. (2008). Students' questions: a potential resource for teaching and learning science. *Studies in Science Education*, 44 (1), 1-39.
- Chinn, C. A. & Malhotra, B. A. (2002). Children's Responses to Anomalous Scientific Data: How Is Conceptual Change Impeded? *Journal of Educational Psychology*, 94 (2), 327-343.
- Chinn, C. A. & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically Authentic Inquiry in Schools: A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks. *Science Education*, 86 (2), 175-218.
- Cohen, E. G. (1994). Restructuring the Classroom: Conditions for Productive Small Groups. *Review of Educational Research*, 64 (1), 1-35.
- Cohen, E. G., Lotan, R. & Catanzarite, L. (1990). Treating Status Problems in the Cooperative Classroom. In S. Sharan (Hrsg.), *Cooperative learning: theory and research* (S. 203-229). New York: Praeger.
- Collet, C. (2009). *Förderung von Problemlösekompetenzen in Verbindung mit Selbstregulation. Wirkungsanalysen von Lehrerfortbildungen* (Empirische Studien zur Didaktik der Mathematik, Bd. 2). Münster: Waxmann.
- Cortina, K. S. (2006). Psychologie der Lernumwelt. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (5., vollst. überarb. Aufl., S. 477-524). Weinheim: Beltz PVU.
- Damerau, K. & Preisfeld, A. (2016). Der Einfluss von Schülerlaborbesuchen auf das Fachwissen und das Fähigkeitsselbstkonzept heterogener Schülergruppen. In U. Gebhard & M. Hammann (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. "Bildung durch Biologieunterricht". Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Hamburg 2015* (Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik, Bd. 7, S. 337-353). Innsbruck: Studienverlag.
- Dearborn, T. (2003). *Naturwissenschaftliche Experimente* (Startklar). Donauwörth: Auer.
- Deboer, G. E. (2006). Historical Perspectives on Inquiry Teaching in Schools. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Hrsg.), *Scientific Inquiry and Nature of Science. Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education* (S. 17-35). Dordrecht (Niederlande): Springer.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2000). The "What" and "Why" of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behavior. *Psychological Inquiry*, 11 (4), 227-268.
- Demuth, R., Gräsel, C., Parchmann, I. & Ralle, B. (Hrsg.). (2008). *Chemie im Kontext. Von der Innovation zur nachhaltigen Verbreitung eines Unterrichtskonzepts*. Münster: Waxmann.
- Deutsche Gesellschaft für Geographie (Hrsg.). (2007). *Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss* (3. Aufl.). Hannover: Wittmann & Wäsch.
- Di Fuccia, D. & Ralle, B. (2009). Schülerexperimente und Leistungsbeurteilung. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 62 (2), 72-79.
- Di Fuccia, D. & Ralle, B. (2010). Forschend-entwickelnd und kontextorientiert. - Eine Beziehungsanalyse des forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahrens und Chemie im Kontext in fünf Denkstufen -. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 63 (5), 296-304. Prof. Dr. Heinz Schmidkunz zum 80. Geburtstag gewidmet.
- Di Fuccia, D., Schellenbach-Zell, J. & Ralle, B. (2007). Chemie im Kontext. Entwicklung, Implementation und Transfer einer innovativen Unterrichtskonzeption. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 60 (5), 274-282.
- Di Fuccia, D.-S. (2011). Sich selbst beobachten. Diagnose im Kontext von Schülerexperimenten. *Unterricht Chemie*, 22 (124/125), 36-42.
- Dierkes, P. (2015). Computergestütztes Lernen im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie* (402/403), 4-14.
- Dittmer, A., Gebhard, U., Höttecke, D. & Menthe, J. (2016). Ethisches Bewerten im Naturwissenschaftlichen Unterricht: Theoretische Bezugspunkte. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* (22), 97-108.
- Drieling, K. (2006). Der experimentelle Algorithmus. Das Beispiel Bodenversalzung. *Praxis Geographie* (11), 18-22.
- Drieschner, E. (2004). *Verstehen, Konstruktivismus und Pädagogik. Studien zum konstruktivistischen Verstehensverständnis und Begründungsformen konstruktivistischer Pädagogiken*. Tönning: Der Andere Verlag.
- Drosdowski, G. (Hrsg.). (1975). *Fremdwörterbuch. Herkunft und Bedeutung der Fremdwörter* (Schülerduden). Mannheim: Bibliographisches Institut / Dudenverlag.
- Dubs, R. (2009). *Lehrerverhalten. Ein Beitrag zur Interaktion von Lehrenden und Lernenden im Unterricht*. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Duit, R. (2003). Naturwissenschaftliches Arbeiten. *Unterricht Physik*, 14 (74), 4(54)-8(58).
- Duit, R., Gropengießer, H. & Stäudel, L. (Hrsg.). (2007). *Naturwissenschaftliches Arbeiten. Unterricht und Material 5 - 10*. (2. Aufl.). Seelze: Friedrich.
- Duit, R., Häußler, P. & Prenzel, M. (2002). Schulleistungen im Bereich der naturwissenschaftlichen Bildung. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen* (Beltz Pädagogik, 2., unveränd. Aufl., Dr. nach Typoskript., S. 169-185). Weinheim: Beltz.
- Dunbar, K. (1993). Concept Discovery in a Scientific Domain. *Cognitive Science*, 17, 397-434.
- Düppers, W. (1975). Wieweit ist der Biologieunterricht experimenteller Unterricht? *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)* (4), 197-199.
- Durant, J. (1993). What is scientific literacy? In J. Durant & J. Gregory (Hrsg.), *Science and Culture in Europe* (S. 129-137). London: (Trustees of the) Science Museum.
- Echevarria, J. & Colburn, A. (2006). Designing Lessons: Inquiry Approach to Science Using the SIOP Model. In A. K. Fathman & D. T. Crowther (Hrsg.), *Science for English language learners. K-12 classroom strategies* (S. 95-108). USA: National Science Teachers Association / NSTA press.
- Eckebracht, H., Eckebracht, D. & Kluge, S. (2006). *Experimentesammlung, Sekundarstufe I. Natura: Biologie für Gymnasien* (1. Aufl.). Stuttgart: Klett.

- Eckhardt, M. (2010). *Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen im Fach Biologie. Dissertation an der Universität Kiel*. Zugriff am 14.09.2013. Verfügbar unter http://eldiss.uni-kiel.de/macau/receive/dissertation_diss_00004981
- Egner, H. (2008). Planen, beeinflussen, verändern ... Zur Steuerbarkeit autopoietischer Systeme. In H. Egner, B. M. W. Ratter & R. Dikau (Hrsg.), *Umwelt als System - System als Umwelt? Systemtheorien auf dem Prüfstand* (S. 137-154). München: Oekom.
- Egner, H. & Ratter, B. M. W. (2008). Einleitung: Wozu Systemtheorie(n)? In H. Egner, B. M. W. Ratter & R. Dikau (Hrsg.), *Umwelt als System - System als Umwelt? Systemtheorien auf dem Prüfstand* (S. 9-19). München: Oekom.
- Ehmer, M. (2008). *Förderung von kognitiven Fähigkeiten beim Experimentieren im Biologieunterricht der 6. Klasse. Eine Untersuchung zur Wirksamkeit von methodischem, epistemologischem und negativem Wissen. Dissertationsschrift*. Zugriff am 26.02.2014. Verfügbar unter <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/e-diss.html>
- Ehmer, M. & Hammann, M. (2007). Alternative Argumentationsstrategien als Ursache methodischer Schülerfehler beim Experimentieren. In H. Bayhuber, U. Harms, D. Krüger, A. Sandmann, U. Unterbruner, Upmeier zu Belzen, Annette et al. (Hrsg.), *Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Abstracts. Internationale Tagung der Fachgruppe Biologiedidaktik im V BIO - Verband Biologie, Biowissenschaften & Biomedizin. 16.09. bis 20.09.2007 in Essen* (S. 27-30). Essen.
- Eilks, I. (2011). Plädoyer für eine konsequentere gesellschaftliche Orientierung des Chemie- und Physikunterrichts. In D. Höttecke (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Potsdam 2010* (S. 47-62). Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Eisner, B., Kattmann, U., Kremer, M., Langlet, J., Plappert, D. & Ralle, B. (2017). Bildung stärken: Naturwissenschaftlichen Unterricht verändern. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU) / MNU Journal* (3), 148-153.
- Eisner, B., Kattmann, U., Kremer, M., Langlet, J., Plappert, D. & Ralle, B. (2017). Gemeinsamer europäischer Referenzrahmen für Naturwissenschaften (GERNN). Wie die Ergebnisse naturwissenschaftlicher Bildung in Europa auf verschiedenen Niveaustufen aussehen sollten. Ein Vorschlag. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU) / MNU Journal* (3), 189-193.
- Ekler, S., Tempel, B. T., Vollmer, C., Rehm, M. & Randler, C. (2015). Entwicklung eines Vignetentests zur Erhebung der professionellen Unterrichtswahrnehmung angehender Lehrkräfte beim Experimentieren. In U. Gebhard, M. Hammann & B. Knälmann (Hrsg.), *Abstractband "Bildung durch Biologieunterricht". 20. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBio und des Forums Fachdidaktik & Schulbiologie. 14.-17. September 2015. Universität Hamburg* (S. 207-208). Hamburg: Online-Veröffentlichung: <http://bildungdurchbiologie2015.de/Abstractband.pdf>.
- Elster, D. (2010). Kompetenzen fördern in [sic] Biologieunterricht - ein Blick nach Österreich. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 63 (1), 45-50.
- Emden, M. & Baur, A. (2016). Effektive Lehrkräftebildung zum Experimentieren - Entwurf eines integriertern Wirkungs- und Gestaltungsmodells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22, 1-19.
- Emden, M., Hübinger, R. & Sumfleth, E. (2010). Erkenntnisgewinnung im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht. Unterrichtsmaterialien zur Unterstützung der Kompetenzförderung. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 63 (5), 279-286.
- Emden, M. & Sumfleth, E. (2011). Prozessorientierte Leistungsmessung experimenteller Fähigkeiten. In D. Höttecke (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Potsdam 2010* (S. 241-243). Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Emden, M. & Sumfleth, E. (2012). Prozessorientierte Leistungsbewertung. Zur Eignung einer Protokollmethode für die Bewertung von Experimentierprozessen. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 65 (2), 68-75.
- Erb, M. & Bolte, C. (2011). Kompetenzdiagnostik im Bereich Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung. In D. Höttecke (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Potsdam 2010* (S. 140-142). Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Euler, M. (2009). Schülerlabore: Lernen durch Forschen und Entwickeln. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (Springer-Lehrbuch, 2. Aufl., S. 799-818). Berlin: Springer.
- Evans, R. & Stäudel Lutz. (2010). Wissenschaftsverständnis und curriculare Ziele. Was der Blick über den Zaun uns lehren kann. *Unterricht Chemie*, 21 (118/119), 36-40.
- Evans, R. H. & Koballa, T. R. (2002). Umsetzung der Theorie in die Praxis. In W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa & R. Evans (Hrsg.), *Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung* (S. 121-133). Opladen: Leske + Budrich.
- Falkenhausen, F. von. (1971). Das Experiment im Biologieunterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 24 (2), 108-111.
- Fathman, A. K. & Crowther, D. T. (2006). Teaching English Through Science and Science Through English. In A. K. Fathman & D. T. Crowther (Hrsg.), *Science for English language learners. K-12 classroom strategies* (S. 3-8). USA: National Science Teachers Association / NSTA press.
- Fechner, S. & Schüttler, S. (2013). Experimentieren lernen auf Englisch - geht das?! Ein bilingual ausgerichtetes Chemieprojekt zur Vermittlung des Erkenntniswegs im Film. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 66 (5), 274-280.
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS. (and sex and drugs and rock'n'roll)* (3. ed., reprinted 2009 (twice)). Los Angeles: Sage.
- Filz, K. J. (2015). Computergestützte Zukunftsszenarien: Modelle für den Wandel der Natur. *Biologie in unserer Zeit*, 45 (4), 236-245.
- Fischer, C. (2010). Inquiry Boards. Eine Planungshilfe zur Förderung der Experimentierkompetenz. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 63 (7), 422-428.
- Fleige, J., Seegers, A., Upmeier zu Belzen, Annette & Krüger, D. (2012). Förderung von Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 65 (1), 19-28.

- Fliege, J., Seegers, A., Upmeyer zu Belzen, Annette & Krüger, D. (Hrsg.). (2012). *Modellkompetenz im Biologieunterricht 7 - 10. Phänomene begreifbar machen - in 11 komplett ausgearbeiteten Unterrichtseinheiten*. Donauwörth: Auer.
- Flick, L. B. (2000). Cognitive Scaffolding that Fosters Scientific Inquiry in Middle Level Science. *Journal of Science Teacher Education*, 11 (2), 109-129.
- Flick, L. B. (2006). Developing Understanding of Scientific Inquiry in Secondary Students. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Hrsg.), *Scientific Inquiry and Nature of Science. Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education* (S. 157-172). Dordrecht (Niederlande): Springer.
- Flick, L. B. & Lederman, N. G. (Hrsg.). (2006). *Scientific Inquiry and Nature of Science. Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education*. Dordrecht (Niederlande): Springer.
- Flint, A. (2014). Vom didaktischen Konzept zur Unterrichtseinheit. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 57-66). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Franke-Braun, G. (2008). *Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. Ein Aufgabenformat zur Förderung der sachbezogenen Kommunikation und Lernleistung für den naturwissenschaftlichen Unterricht* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 88). Univ., Diss.--Kassel, 2008. Berlin: Logos.
- Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Bildung und Sport & Landesinstitut für Lehrerbildung und Schulentwicklung, Hamburg, Körper, M.; Plehn, M. & Wagner, R. (Mitarbeiter). (2006). *Aus PISA lernen. Kompetenzförderung durch experimentelle Aufgaben. Schülerexperimente*. Zugriff am 31.08.2012. Verfügbar unter <http://natex-hamburg.de/blog/materialien/>
- Freytag, K. (Hrsg.). (2007b), *Biologische Kurzversuche. Bd. 2: Zoologie, Botanik, Mikroorganismen*. Köln: Aulis-Verl. Deubner.
- Freytag, K. (2007a). *Biologische Kurzversuche. Bd. 1: Humanbiologie, Allgemeine Biologie*. Köln: Aulis-Verl. Deubner.
- Friedrich, I., Feller, W., Joos, T. A. & Spörhase, U. (2016). Diagnosekompetenz erwerben. Lernaufgaben analysieren und konzipieren. *Unterricht Biologie*, 40 (417), 8-14.
- Frischknecht-Tobler, U., Kunz, P. & Nagel, U. (2008). Systemdenken - Begriffe, Konzepte und Definitionen. In U. Frischknecht-Tobler, U. Nagel & H. Seybold (Hrsg.), *Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen* (S. 11-31). Zürich: Verlag Pestalozzianum an der Pädagogischen Hochschule Zürich.
- Frischknecht-Tobler, U. & Labudde, P. (2010). Beobachten und Experimentieren. In P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaft. 1.-9. Schuljahr* (S. 133-148). Bern: Haupt.
- Funke, J. (2013). Mit Herz und Verstand. Schlüssel zu einer komplexen Welt. *Ruperto Carola - Forschungsmagazin der Universität Heidelberg* (3), 36-43. Zugriff am 03.01.2017. Verfügbar unter http://www.uni-heidelberg.de/rupertocarola/2013_03.html
- Funke, J. & Zumbach, J. (2006). Problemlösen. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 206-220). Göttingen: Hogrefe.
- Ganser, M. & Hammann, M. (2009). Hypothesen verändern können. Aufgaben zum Umgang mit unerwarteten Daten im Kontext historischer Experimente. *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule.*, 58 (3), 39-43.
- Ganser, M. & Hammann, M. (2009). Teaching competencies in biological experimentation. In M. Hammann, K. Boersma & A. J. Waarlo (Hrsg.), *The Nature of Research in Biological Education: Old and New Perspectives on Theoretical and Methodological Issues: Proceedings of the VIIth Conference of European Researchers in Didactics of Biology (ERIDOB)*. Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education: Utrecht University (S. 377-394). Utrecht.
- Ganser, M., Hammann, M., Bäsemann, E., Zeller, H., Stein, T., Jacobus, D. et al. (2008?). Experimentierkompetenz fördern in drei Schritten. Thema: Milchprodukte (Klassenstufe 5/6). In bik - Arbeitsgruppe Hamburg (Hrsg.), *Biologie im Kontext - Erkenntnisgewinnung*. Zugriff am 11.10.2009. Verfügbar unter: http://www.dok-barth.de/bda/sauck/pdf/Klasse5/Experimente_zu_Milchprodukten.pdf.
- Gärtner, H. (2001). Umweltbildung an außerschulischen Lernorten. In H. Baier & S. Wittkowske (Hrsg.), *Ökologisierung des Lernortes Schule* (S. 219-231). Bad Heilbrunn/Obb.: Julius Klinkhardt.
- Gaude, P. & Teschner, W.-P. (1971). *Objektivierte Leistungsmessung in der Schule. Einsatz informeller Tests im Leistungsdiagnostizierten Unterricht*. (Berliner Studien zur Bildungsplanung und Bildungsreform, Bd. 2, 2. Aufl.). Frankfurt am Main: Diesterweg.
- Gebauer, M. & Schrenk, M. (Hrsg.). (2012), *Wir experimentieren in der Grundschule. Einfache Versuche zum Verständnis biologischer Zusammenhänge. Teil 3: Pflanzen und Tiere*. Hallbergmoos: Aulis / Stark Verlagsgemeinschaft.
- Gebhard, U., Höttecke, D. & Rehm, M. (2017). *Pädagogik der Naturwissenschaften. Ein Studienbuch*. Wiesbaden: Springer VS.
- Germann, P. J., Aram, R., Odom, A. L. & Burke, G. (1996). Student performance on asking questions, identifying variables, and formulating hypotheses. Online-Quelle (ohne Seitenangaben). *School Science and Mathematics* (4 (Apr. 1996)), 192-201.
- Gesellschaft für Informatik e. V. (2008). *Grundsätze und Standards für die Informatik in der Schule. Bildungsstandards Informatik für die Sekundarstufe I*. Zugriff am 28.05.2015. Verfügbar unter <http://www.informatikstandards.de/>
- Giertz, J. (2017, 29. Juni). Bildungspolitik: Eisenmann will mehr Qualität an den Schulen. *Ludwigsburger Kreiszeitung*, S. 4.
- Giest, H. (2008). Experimentieren und Problemlösen als Lernhandlungen. *Grundschulunterricht. Sachunterricht*, 55 (2), 4-9.
- Gilbert, J. K. (2006). On the Nature of "Context" in Chemical Education. *International Journal of Science Education*, 28 (9), 957-976.
- Girwidz, R. (2009). Medien im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (Springer-Lehrbuch, 2. Aufl., S. 203-264). Berlin: Springer.
- Girwidz, R. (2009). Neue Medien und Multimedia. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (Springer-Lehrbuch, 2. Aufl., S. 423-450). Berlin: Springer.
- Girwidz, R. (2009). Neue Medien unter lernpsychologischen Aspekten. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (Springer-Lehrbuch, 2. Aufl., S. 631-662). Berlin: Springer.
- Glaesser, J., Gott, R., Roberts, R. & Cooper, B. (2009). The Roles of Substantive and Procedural Understanding in Open-Ended Science Investigations: Using Fuzzy Set Qualitative Comparative Analysis to Compare Two Different Tasks. *Research in Science Education*, 39, 595-624.

- Gleason, M. E. & Schauble, L. (2000). Parents' Assistance of Their Children's Scientific Reasoning. *Cognition and Instruction*, 17 (4), 343-378.
- Glug, I. (2009). *Entwicklung und Validierung eines Multiple-Choice-Tests zur Erfassung prozessbezogener naturwissenschaftlicher Grundbildung. Dissertation an der Universität Kiel*. Zugriff am 14.09.2013. Verfügbar unter http://eldiss.uni-kiel.de/macau/receive/dissertation_diss_00003649
- Goldstein, J. & Puntambekar, S. (2004). The Brink of Change: Gender in Technology-Rich Collaborative Learning Environments. *Journal of Science Education and Technology*, 13 (4), 505-522.
- Gößling, J. M. (2010). *Selbständig entdeckendes Experimentieren. Lernwirksamkeit der Strategieanwendung. Dissertationsschrift an der Universität Duisburg-Essen*. Zugriff am 04.04.2011. Verfügbar unter <http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DownloadServlet/Download-25874/Dissertation.pdf>
- Goswami, U. & Wengenroth, M. (2001). *So denken Kinder. Einführung in die Psychologie der kognitiven Entwicklung* (Aus dem Programm Huber, 1. Aufl. der dt. Ausg.). Bern: Huber.
- Gott, R. & Duggan, S. (1995). *Investigative work in the science curriculum*. Buckingham: Open University Press.
- Götz, T., Frenzel, A. C. & Pekrun, R. (2010). Psychologische Bildungsforschung. In R. Tippelt & B. Schmidt (Hrsg.), *Handbuch Bildungsforschung* (3. Aufl., S. 71-91). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften | Springer Fachmedien.
- Gräber, W. & Nentwig, P. (2002). Scientific Literacy – Naturwissenschaftliche Grundbildung in der Diskussion. In W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa & R. Evans (Hrsg.), *Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung* (S. 7-20). Opladen: Leske + Budrich.
- Gräber, W., Nentwig, P. & Nicolson, P. (2002). Scientific Literacy - von der Theorie zur Praxis. In W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa & R. Evans (Hrsg.), *Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung* (S. 135-145). Opladen: Leske + Budrich.
- Graf, D. (2015). Über den Umgang mit Fachsprache im Biologieunterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU) / MNU Journal*, 68 (3), 165-171.
- Graf, E. (Hrsg.). (2004). *Biologiedidaktik für Studium und Unterrichtspraxis* (1. Aufl.). Donauwörth: Auer.
- Gräsel, C. (2000). Gestaltung problemorientierter Lernumgebungen. In H. Bayrhuber & U. Unterbruner (Hrsg.), *Lehren und Lernen im Biologieunterricht* (S. 186-194). Innsbruck: Studien Verlag.
- Gräsel, C. (2010). Umweltbildung. In R. Tippelt & B. Schmidt (Hrsg.), *Handbuch Bildungsforschung* (3. Aufl., S. 845-859). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften | Springer Fachmedien.
- Gräsel, C. & Parchmann, I. (2004). Die Entwicklung und Implementation von Konzepten situierter, selbstgesteuerter Lernens. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 7 (Beiheft 3/2004), 171-184.
- Gräsel, C. & Parchmann, I. (2004). Implementationsforschung - oder: der steinige Weg, Unterricht zu verändern. *Unterrichtswissenschaft*, 32 (3), 196-214.
- Greefrath, G. & Weigand, H.-G. (2012). Simulieren: Mit Modellen experimentieren. *Mathematik lehren* (174), 2-6.
- Greiff, S., Wüstenberg, S., Holt, D. V., Goldhammer, F. & Funke, J. (2013). Computer-based assessment of Complex Problem Solving: concept, implementation, and application. *Educational Technology Research and Development*, 61 (3), 407-421. Zugriff am 21.12.2013. Verfügbar unter <https://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/mitarb/jf/Greiff%20etal%202013%20ETRD.pdf>
- Greinstetter, R. (2008). Naturwissenschaftliches Experimentieren lehren und lernen - Grundprinzipien zum Naturwissenschaftsunterricht in der Grundschule. *Erziehung und Unterricht* (3/4), 326-333.
- Greving, J. & Paradies, L. (1996). *Unterrichts-Einstiege. Ein Studien- und Praxisbuch*. Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Grimmer, A. (2007). *Untersuchungen zur Entwicklung experimenteller Kompetenzen durch den Einsatz multimedialer Arbeitstechniken im Biologieunterricht der Sekundarstufe II*, Martin-Luther-Universität. Zugriff am 21.03.2016. Verfügbar unter <http://d-nb.info/996080503/34>
- Grober, U. (2010). *Die Entdeckung der Nachhaltigkeit. Kulturgeschichte eines Begriffs*. München: Verlag Antje Kunstmann.
- Gropengießer, H. (2013). Biologielehrerinnen und Biologielehrer. In H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (9. Aufl., S. 212-218). Hallbergmoos: Aulis / Stark Verlagsgemeinschaft.
- Gropengießer, H. (2013). Schulbücher. In H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (9. Aufl., S. 390-394). Hallbergmoos: Aulis / Stark Verlagsgemeinschaft.
- Gropengießer, H. & Kattmann, U. (Hrsg.). (2006). *Fachdidaktik Biologie. Die Biologiedidaktik. (Begr. von D. Eschenhagen, U. Kattmann & D. Rodi)* (7. Aufl.). Köln: Aulis-Verl. Deubner.
- Gropengießer, H. & Kattmann, U. (2013). Didaktische Rekonstruktion. In H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (9. Aufl., S. 16-23). Hallbergmoos: Aulis / Stark Verlagsgemeinschaft.
- Gropengießer, H., Kattmann, U. & Krüger, D. (2010). *Biologiedidaktik in Übersichten*. Köln: Aulis-Verl. Deubner.
- Groß, J. (2017). Liebe VBIO-Mitglieder, digitale Medien haben international längst Einzug in die Biologieausbildung erhalten [...]. [Anschreiben an die Leserschaft]. *Biologie in unserer Zeit*, 47 (3), 159.
- Großschedl, J., Harms, U. & Mahler, D. (2016). The Impact of Biology Teachers' Content-Related Professional Knowledge on Students' Performance. In J. Arnold, O. Köller, I. Neumann, S. Petersen, U. Ringelband, K. Schütte et al. (Hrsg.), *IPN Research Report 2015/16* (S. 17-20). Kiel: Schmidt & Klaunig / IPN.
- Grube, C. (2010). *Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. Untersuchung der Struktur und Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I*. Zugriff am 06.09.2013. Verfügbar unter <https://kobra.bibliothek.uni-kassel.de/bitstream/urn:nbn:de:hebis:34-2011041537247/3/DissertationChristianeGrube.pdf>
- Grube, C. & Mayer, J. (2010). Wissenschaftsmethodische Kompetenzen in der Sekundarstufe I: Eine Untersuchung zur Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens. In U. Harms & I. Mackensen-Friedrichs (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. Bd. 4. "Heterogenität erfassen - individuell fördern im Biologieunterricht"*. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Kiel 2009. (S. 155-168). Innsbruck: Studien Verlag.

- Grünkorn, J., Lotz, A. & Terzer, E. (2014). Erfassung von Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 67 (3), 132-138.
- Grygier, P. (2007). Wie zuverlässig ist unsere Wahrnehmung? Einführender Unterricht über die Natur der Naturwissenschaften. *Unterricht Physik*, 18 (102), 17-23.
- Grygier, P. (2008). *Wissenschaftsverständnis von Grundschulern im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Grygier, P. (2011). Wissenschaftsverständnis von Grundschulern im Sachunterricht. In H. Bayrhuber, U. Harms, B. Muszynski, B. Ralle, M. Rothgangel, L.-H. Schön et al. (Hrsg.), *Empirische Fundierung in den Fachdidaktiken* (Fachdidaktische Forschungen, Bd. 1, S. 131-145). Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Grygier, P. & Hartinger, A. (2009). *Gute Aufgaben Sachunterricht. Naturwissenschaftliche Phänomene begreifen. 48 gute Aufgaben. Für das 1. bis 4. Schuljahr*. Berlin: Scriptor.
- Grygier, P., Jonen, A., Kircher, E., Sodian, B. & Thoermer, C. (2008). "Wissenschaftsverständnis" und Erwerb von naturwissenschaftlichem Wissen und Experimentierfähigkeit in der Grundschule. In H. Giest & J. Wiesemann (Hrsg.), *Kind und Wissenschaft. Welches Wissenschaftsverständnis hat der Sachunterricht? ; [GDSU-Jahrestagung 2007 in Kassel]* (Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts, Bd. 18, S. 69-82). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Gummer, E. & Champagne, A. (2006). Classroom Assessment of Opportunity to Learn Science Through Inquiry. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Hrsg.), *Scientific Inquiry and Nature of Science. Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education* (S. 263-297). Dordrecht (Niederlande): Springer.
- Gürtler, T., Perels, F., Schmitz, B. & Bruder, R. (2002). Training zur Förderung selbstregulativer Fähigkeiten in Kombination mit Problemlösen in Mathematik. In M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen. Zeitschrift für Pädagogik - 45. Beiheft* (S. 222-239). Einheim: Beltz.
- Gut-Glanzmann, C. (2012). *Modellierung und Messung experimenteller Kompetenz. Analyse eines large-scale Experimentiertests* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 134). Berlin: Logos.
- Haag, L. & Hopperditzel, H. (2000). Gruppenunterricht - Aber wie? Eine Studie über Transfer-Effekte und ihre Voraussetzungen. *Die Deutsche Schule* (92), 480-490.
- Haan, G. de (2002). Lernziel Zukunft – ein neues Profil für die Umweltbildung. In Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (Hrsg.), *Leitbilder einer nachhaltigen Entwicklung 4* (S. 19-27). Stuttgart.
- Häder, M. (2010). *Empirische Sozialforschung. Eine Einführung* (2. Aufl.). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Hafner, T. & vom Hofe, R. (2008). Aufgaben analysieren und Schülervorstellungen erkennen. Diagnostische Interviews zur Prozentrechnung. *Mathematik lehren* (150), 14-19.
- Hahn, S., Stiller, C., Stockey, A. & Wilde, M. (2013). Experimentierend zur naturwissenschaftlichen Grundbildung – Entwicklung und Evaluation eines kompetenzorientierten Kurses für die Eingangsphase der Oberstufe. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 7-15.
- Haider, M. & Hartinger, A. (Hrsg.). (2010). *Experimentieren im Sachunterricht. Phänomene der Natur begreifen; individuelle Zugänge erproben; für die Jahrgänge 1 bis 4; umfassender didaktischer Kommentar; editierbare Kopiervorlagen* (1. Aufl.). Berlin: Cornelsen.
- Hameyer, U. (1987). *AKTIF. Erfahrungsberichte und Studien* (IPN-Materialien). Kiel: IPN / Schmidt & Klaunig.
- Hameyer, U., Dudek, H., Friis, H. & Strenge, B. (1986). *Naturwissenschaften AKTIV. H. 1: Inhalt der Unterrichtseinheit Experimentieren*. Kiel: IPN / Schmidt & Klaunig.
- Hameyer, U. & Strenge, B. (1986). *Naturwissenschaften AKTIV. Lernangebot Sachunterricht u. naturwiss. Fächer 3. bis 7. Klasse*. Kiel: Schmidt & Klaunig / IPN.
- Hameyer, U., Strenge, B. & IPN an der Universität Kiel. (1986). *Kommentarband AKTIF. In der Reihe: Naturwissenschaften AKTIV [= Alle Können Teilhaben an Ideen und Fertigkeiten]. Lernangebot Sachunterricht und naturwissenschaftliche Fächer 3. bis 7. Klasse* (IPN-Materialien). Kiel: Schmidt & Klaunig.
- Hammann, M. (2002). *Kriteriengeleitetes Vergleichen im Biologieunterricht*. Univ., Diss.--Kiel, 2002. Innsbruck: StudienVerl.
- Hammann, M. (2004). Kompetenzentwicklungsmodelle. Merkmale und ihre Bedeutung - dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 57 (4), 196-203.
- Hammann, M. (2005). Wissensvoraussetzungen beim problemorientierten Vergleichen in der Ökologie. In R. Klee, A. Sandmann & H. Vogt (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. Bd. 2* (S. 11-27). Innsbruck: Studien Verlag.
- Hammann, M. (2006). Kompetenzförderung und Aufgabenentwicklung. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 59 (2), 85-95.
- Hammann, M. (2006). Naturwissenschaftliche Kompetenz: PISA und Scientific Literacy. In U. Steffens & R. Messner (Hrsg.), *PISA macht Schule. Konzeptionen und Praxisbeispiele zur neuen Aufgabenkultur* (Folgerungen aus PISA für Schule und Unterricht, Bd. 3, 1. Aufl., S. 127-180). Wiesbaden: Inst. für Qualitätsentwicklung.
- Hammann, M. (2007). Das Scientific Discovery as Dual Search-Modell. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologie-didaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (Springer-Lehrbuch, S. 187-196). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hammann, M. (2010). Experimentieren. In U. Spörhase & W. Ruppert (Hrsg.), *Biologie-Methodik. Handbuch für die Sekundarstufe I und II* (1. Aufl., S. 91-96). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Hammann, M. (2013). Vergleichen. In H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (9. Aufl., S. 294-298). Hallbergmoos: Aulis / Stark Verlagsgemeinschaft.
- Hammann, M. (2014). Experimentieren. In U. Spörhase & W. Ruppert (Hrsg.), *Biologie-Methodik. Handbuch für die Sekundarstufe I und II* (2. Aufl., S. 102-106). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Hammann, M., Ganser, M. & Haupt, M. (2007). Experimentieren können. Kompetenzentwicklungsmodelle und ihre Nutzung im Unterricht. *geographie heute. Kompetenzen - Standards - Aufgaben*, 28 (255/256).

- Hammann, M. & Jördens, J. (2014). Offene Aufgaben codieren. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 169-178). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hammann, M. & Mayer, J. (2012). Was lernen Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren? Beitrag zu 'Relevanz biologiedidaktischer Forschung'. *Biologie in unserer Zeit*, 42 (5), 284-285.
- Hammann, M., Phan, T. H. & Bayrhuber, H. (2008). Experimentieren als Problemlösen: Lässt sich das SDDS-Modell nutzen, um unterschiedliche Dimensionen beim Experimentieren zu messen? Paralleltitel: Experimentation as problem-solving: Can the SDDS-model be used to measure different dimensions of experimentation. In M. Prenzel, I. Gogolin & H.-H. Krüger (Hrsg.), *Kompetenzdiagnostik. Sonderheft 8/2007* (Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 10. Jg., Sonderheft 8, S. 33-49). Wiesbaden: VS Verl. f. Sozialwiss.
- Hammann, M., Phan, T. T. H., Ehmer, M. & Grimm, T. (2008). Assessing pupils' skills in experimentation. *Journal of Biological Education*, 42 (2, Spring 2008), 66-72.
- Hammann, M., Phan, T. T. H., Ehmer, M. & Bayrhuber, H. (2006). Fehlerfrei Experimentieren. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 59 (5), 292-299.
- Hammann, M. & Prenzel, M. (2008). Ergebnisse des internationalen PISA Naturwissenschaftstests 2006. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)* (61/2 (1.3.2008)), 67-74.
- Hannover, B. (1992). Geschlecht und Interessenentwicklung. Mädchen in geschlechtsuntypischen Berufen. Eine quasiexperimentelle Studie zur Förderung des Interesses Jugendlicher an Naturwissenschaften und Technik. *Zeitschrift für Sozialpsychologie*, 36-45.
- Hardy, I., Kleickmann, T., Koerber, S., Mayer, D., Möller, K., Pollmeier, J. et al. (2010). Die Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz im Grundschulalter. *Zeitschrift für Pädagogik*, 56 (Beiheft 56), 115-125.
- Harms, U. (2007). Theoretische Ansätze zur Metakognition. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (Springer-Lehrbuch, S. 129-140). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Harms, U. (2016). Diagnose und Rückmeldung - zwei Seiten einer Medaille. *Unterricht Biologie*, 40 (417), 2-7.
- Harms, U. & Schroeter, B. (2009). Modellversuche und kompetenzorientierter Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften; Schwerpunkttagung "Kompetenzmodelle und Bildungsstandards: Aufgaben für die naturwissenschaftsdidaktische Forschung"*, 15, 12-14.
- Hart, C., Mulhall, P., Berry, A., Loughran, J. & Gunstone, R. (2000). What is the Purpose of this Experiment? Or Can Students Learn Something from Doing Experiments? *Journal of Research in Science Teaching*, 37 (7), 655-675.
- Hartig, J., Frey, A. & Jude, N. (2007). Validität. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (Springer-Lehrbuch, S. 135-163). Heidelberg: Springer.
- Hartig, J. & Klieme, E. (2005). Die Bedeutung schulischer Bildung und soziobiographischer Merkmale für die Problemlösekompetenz. In E. Klieme, D. Leutner & J. Wirth (Hrsg.), *Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern. Diagnostische Ansätze, theoretische Grundlagen und empirische Befunde der deutschen PISA-2000-Studie* (1. Aufl., S. 83-97). Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwiss.
- Hartig, J. & Klieme, E. (2006). Kompetenz und Kompetenzdiagnostik. In K. Schweizer (Hrsg.), *Leistung und Leistungsdiagnostik. Mit 18 Tabellen* (S. 127-143). Heidelberg: Springer Medizin. Zugriff am 17.05.2010. Verfügbar unter <http://www.springer-link.com/content/n8521g/>
- Härtig, H., Kauertz, A. & Fischer, H. E. (2012). Das Schulbuch im Physikunterricht. Nutzung von Schulbüchern zur Unterrichtsvorbereitung in Physik. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 65 (4 (Juni)), 197-200.
- Härtig, H., Neumann, K. & Erb, R. (2017). Experimentieren als Interaktion von Situation und Person. Ergebnisse einer Expertenbefragung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23, 1-10.
- Hartinger, A. (2007). Experimente und Versuche. In D. von Reeken (Hrsg.), *Handbuch Methoden im Sachunterricht* (Dimensionen des Sachunterrichts, Bd. 3, 2. Aufl., S. 68-75). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Hasse, S. & Hammann, M. (2016). Erkenntnis gewinnen. Fehler beim Experimentieren kennen und verstehen. *Unterricht Biologie*, 40 (417), 20-25.
- Hattie, J. (2013). *Lernen sichtbar machen. Überarbeitete deutschsprachige Ausgabe von Visible Learning besorgt von Wolfgang Beywl und Klaus Zierer*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Hauenschild, K. & Bolscho, D. (2005). *Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Schule. Ein Studienbuch* (Umweltbildung und Zukunftsfähigkeit, Bd. 4). Frankfurt am Main: Lang. Verfügbar unter <http://www.gbv.de/dms/bsz/toc/bsz252392051inh.pdf>
- Haufe, D. (o. J.). *Nachhaltigkeit im Umgang mit der Ressource Wald. Ein Projekt im Wahlpflichtunterricht der Realschule Sielow, Brandenburg*. (Werkstattmaterialien. Bildung für eine nachhaltige Entwicklung / BLK-Programm "21", 52 / Partizipatives Lernen, Partizipation in der lokalen Agenda). Berlin: www.blk21.de; Zugriff am 21.03.2011. Verfügbar unter http://www.institutfutur.de/_publikationen/wsm/52.pdf
- Haupt, K.-P. (2010). Öffnung des Physikunterrichts durch forschendes Lernen. Anregungen für die Vorbereitung und Durchführung forschenden Lernens. *Unterricht Physik* (119), 26 (208) - 30 (212).
- Hedewig, R. (1990). Bericht der Arbeitsgruppe "Experimentieren im Biologieunterricht". In W. Killermann & L. Staeck (Hrsg.), *Methoden des Biologieunterrichtes. Bericht über die Tagung der Sektion Fachdidaktik im Verband Deutscher Biologen in Herrsching, 2.10. - 6.10.1989* (S. 82-87). Köln: Aulis-Verl. Deubner.
- Heering, P. (2004). Historische Apparaturen und Experimente in der Physiklehrausbildung. In C. Hößle, D. Höttecke & E. Kircher (Hrsg.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften* (S. 58-70). Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.
- Heger, T., Imhoff, M., Jobber, J., Knoll, M., Rauser, D., Schrank, S. et al. (Landesinstitut für Schulentwicklung Baden-Württemberg, Hrsg.). (2016). *Lernprozesse sichtbar machen. Arbeiten mit Kompetenzrastern und Lernwegelisten Biologie. basierend auf dem gemeinsamen Bildungsplan 2016 Sek I. NL-56*. Zugriff am 25.02.2017. Verfügbar unter http://www.schule-bw.de/unterricht/individualisiertes_lernen/kompetenzraster2016/biologie/b_nl_56_0_basis.pdf

- Heidinger, C. & Radits, F. (2013). Einblicke in die Erkenntnisgewinnung in der Biologie in Student-Scientist-Partnerships. In J. Mayer, M. Hammann, N. Wellnitz, J. Arnold & M. Werner (Hrsg.), *Theorie - Empirie - Praxis. Abstractband. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDDb) im VBiO, 16.09. - 20.09.2013, Universität Kassel* (S. 130-131). Kassel: kassel university press.
- Heimann, R. (2005). Das Experiment - ein Instrument zur Förderung selbstständigen Denkens. In E. Rossa (Hrsg.), *Chemie-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (S. 50-73). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Heimann, R. & Neumann, S. (2011). Naturwissenschaftliches Denken. Welche Auswirkungen hat es für den Chemieunterricht und wie kann man seine Ausprägung ermitteln? *Unterricht Chemie*, 22 (124/125), 26-31.
- Heinze, A., Köller, O., Lütke, O., Neumann, K., Parchmann, I., Robitzsch, A. et al. (2016). Programme for International Student Assessment 2015. In J. Arnold, O. Köller, I. Neumann, S. Petersen, U. Ringelband, K. Schütte et al. (Hrsg.), *IPN Research Report 2015/16* (S. 78-86). Kiel: Schmidt & Klaunig / IPN.
- Heinze, A. & Rach, S. (2013). Learning from Errors - Students' Attitudes towards and their Use of Errors. In O. Köller, M. Euler, U. Harms, A. Heinze, I. Parchmann & T. Höffler (Hrsg.), *Research Report 2011 / 2012. IPN - Leibniz Institute for Science and Mathematics Education* (S. 51-53). Kiel / Kronshagen: Pirwitz Druck & Design.
- Heinzel, I. (1990). Lehren und Lernen am Beispiel des Bildens von Begriffen, Definierens und Beweisens im Biologieunterricht. In W. Killermann & L. Staack (Hrsg.), *Methoden des Biologieunterrichtes. Bericht über die Tagung der Sektion Fachdidaktik im Verband Deutscher Biologen in Hersching, 2.10. - 6.10.1989* (S. 94-97). Köln: Aulis-Verl. Deubner.
- Hellberg-Rode, G. (2002-2004). *Projekt Hypersoil: Assel-Werkstatt*, Universität Münster. Zugriff am 27.06.2015. Verfügbar unter <http://hypersoil.uni-muenster.de/1/03.htm>
- Hellmich, F. & Höntges, J. (2010). Wissenschaftliches Denken in der Grundschule. In H. Köster, F. Hellmich & V. Nordmeier (Hrsg.), *Handbuch Experimentieren* (S. 69-81). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Helmke, A. (2009). *Unterrichtsqualität und Lehrprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts. Franz Emanuel Weinert gewidmet* (2., aktualisierte Aufl.). Seelze-Velber: Klett Kallmeyer.
- Hempel, M. (2008). Zum (Vor-) Wissen von Wissenschaft bei Grundschulkindern. In H. Giest & J. Wiesemann (Hrsg.), *Kind und Wissenschaft. Welches Wissenschaftsverständnis hat der Sachunterricht? ; [GDSU-Jahrestagung 2007 in Kassel]* (Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts, Bd. 18, S. 169-179). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Henke, A. (2016). Lernen über die Natur der Naturwissenschaften - Forschender und historisch orientierter Physikunterricht im Vergleich. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22, 123-145.
- Henke, A. & Höttecke, D. (2010). Lernen über die Natur der Naturwissenschaften - Vergleichende Untersuchung der Wirkung expliziter Reflektion in historischen Fallstudien & forschendem Lernen. In D. Höttecke (Hrsg.), *Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Dresden 2009* (S. 86-88). Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Henke, C. (2007). *Experimentell-naturwissenschaftliche Arbeitsweisen in der Oberstufe. Untersuchung am Beispiel des HIGHSEA-Projekts in Bremerhaven* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 59). Univ., Diss.--Duisburg-Essen, 2006. Berlin: Logos-Verlag. Zugriff am 12.08.2009. Verfügbar unter http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=2929085&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm
- Hentig, H. von (2004). Einführung in den Bildungsplan 2004. In MKJS = Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg (Hrsg.), *Bildungsplan für die Realschule* (S. 7-19). Stuttgart / Ditzingen: Philipp Reclam Jun.
- Herold, R., Burek, S. & Späth, S. (2003). Heimversuche. Gelegenheiten für eigenständiges Experimentieren. *Unterricht Physik*, 14 (74), 17 (67) - 20 (70).
- Herpell, W. (2016, 17. Juni). Bildungsrepublik bleibt Baustelle [Zu den Befunden des Berichts "Bildung in Deutschland 2016"]. *Ludwigsburger Kreiszeitung*, S. 2.
- Herpell, W. (2016, 24. November). "Ansporn zum Weitermachen". Pisa-Koordinator Andreas Schleicher hält Fortsetzung von Reformen in der Bildung für unabdingbar. *Ludwigsburger Kreiszeitung*, S. 3.
- Herpell, W. (2017, 12. April). Es geht um viel Geld und um Pädagogikkonzepte. [Zur Digitalisierungsstrategie - "Digitalpakt" - der Kultusministerkonferenz]. *Ludwigsburger Kreiszeitung*, S. 2.
- Hesse, I. & Latzko, B. (2011). *Diagnostik für Lehrkräfte* (2. Aufl.). Opladen & Farmington Hills: Budrich / UTB.
- Heyduck, B., Schwanewedel, J. & Großschedl, J. (2016). Forschend Lehren lernen: Lehramtsstudierende als Unterrichtsentwickler/-innen und Unterrichtsforscher/-innen. In U. Gebhard & M. Hammann (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. "Bildung durch Biologieunterricht". Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBiO, Hamburg 2015* (Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik, Bd. 7, S. 373-388). Innsbruck: Studienverlag.
- Hildebrandt, K. & Bayhuber, H. (2008). Die Wirkung systemischer Darstellungsformen und multiperspektivischer Wissensrepräsentationen auf das Verständnis des globalen Kohlenstoffkreislaufs. In U. Harms & A. Sandmann (Hrsg.), *Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBiO, Essen 2007* (Forschungen zur Fachdidaktik, Bd. 10, S. 11-28). Innsbruck: StudienVerl.
- Hmelo-Silver, C. E., Nagarajan, A. & Day, R. S. (2002). "It's Harder than We Thought It Would be": A Comparative Case Study of Expert-Novice Experimentation Strategies. *Science Education*, 86 (2), 219-243.
- Hof, S. (2011). *Wissenschaftsmethodischer Kompetenzerwerb durch Forschendes Lernen. Entwicklung und Evaluation einer Interventionsstudie*. Kassel: kassel university press.
- Hof, S. & Mayer, J. (2008). Förderung von wissenschaftsmethodischen Kompetenzen durch Forschendes Lernen. Ein Vergleich zwischen direkter Instruktion und Guided-Scientific-Inquiry. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 7, 69-84. Zugriff am 03.07.2015. Verfügbar unter http://www.bcp.fu-berlin.de/biologie/arbeitsgruppen/didaktik/Erkenntnisweg/2008/2008_05_Hof.pdf
- Hofheinz, V. (2010). Das Babywindelprojekt. Offene Forschungsaufträge und impliziter Wissenserwerb über die Natur der Naturwissenschaften. *Unterricht Chemie*, 21 (118/119), 50-66.
- Hofheinz, V. (2010). Das Wesen der Naturwissenschaften. Was die Naturwissenschaften ausmacht. *Unterricht Chemie*, 21 (118/119), 8-13.

- Hofstein, A., Kipnis, M. & Kind, P. (2008). Learning in and from Science Laboratories: Enhancing Students' Meta-Cognition and Argumentation Skills. In M. V. Thomase (Hrsg.), *Science education in focus* (S. 59-94). New York: Nova Science Publishers.
- Holliday, W. G. (2006). A Balanced Approach to Science Inquiry Teaching. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Hrsg.), *Scientific Inquiry and Nature of Science. Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education* (S. 201-217). Dordrecht (Niederlande): Springer.
- Holst, S. (2005). *Entwicklung und Evaluation interaktiver Experimentierstationen - eine Studie zur Überprüfung der Bildungswirksamkeit erfahrungsfördernder Experimentierstationen in der Primär- und Orientierungsstufe*. Univ., Diss.--Flensburg, 2005. Tönning: Der Andere Verl.
- Hopf, M. (2007). *Problemorientierte Schülerexperimente* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 68). Berlin: Logos.
- Hopf, M. (2014). *Problemorientierte Schülerexperimente*, Vortrag. Zugriff am 03.01.2017. Verfügbar unter <https://ag4physik.files.wordpress.com/2014/10/schc3bclerexperimente.pdf>
- Hopf, M. & Wiesner, H. (2005). Wirksamkeit von Problemorientierung bei Schülerexperimenten. In A. Pitton (Hrsg.), *Relevanz fachdidaktischer Forschungsergebnisse für die Lehrerbildung. [Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 25 ; (31.) Jahrestagung der GDCP in Heidelberg 2004]* (S. 149-151). Münster: LIT-Verl.
- Horstendahl, M., Fischer, H. E. & Rolf, R. (2000). Konzeptuelle und motivationale Aspekte der Handlungsregulation von Schülerinnen und Schülern im Experimentalunterricht der Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 6, 7-25.
- Horstmann, K. (2004). Biologie als Geschichtswissenschaft. In C. Hößle, D. Höttecke & E. Kircher (Hrsg.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften* (S. 71-81). Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.
- Hößle, C. (2013). Ethisches Bewerten im Unterricht. Relevanz biologiedidaktischer Forschung, Teil 4. *Biologie in unserer Zeit*, 43 (2), 72-74.
- Höttecke, D. (2004). Schülervorstellungen über die "Natur der Naturwissenschaften". In C. Hößle, D. Höttecke & E. Kircher (Hrsg.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften* (S. 264-277). Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.
- Höttecke, D. (2004). Wissenschaftsgeschichte im naturwissenschaftlichen Unterricht. In C. Hößle, D. Höttecke & E. Kircher (Hrsg.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften* (S. 43-56). Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.
- Höttecke, D. (2008). Was ist Naturwissenschaft? Physikunterricht über die Natur der Naturwissenschaften. *Unterricht Physik*, 19 (103), 4-11.
- Höttecke, D. (2010). Forschend-entdeckender Physikunterricht. Ein Überblick zu Hintergründen, Chancen und Umsetzungsmöglichkeiten entsprechender Unterrichtskonzeptionen. *Unterricht Physik* (119), 4 (186) - 12 (194).
- Höttecke, D. (Hrsg.). (2011). *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Potsdam 2010*. Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Höttecke, D. & Henke, A. (2010). Über die Natur der Naturwissenschaften lehren und lernen. Geschichte und Philosophie im Chemieunterricht? *Unterricht Chemie*, 21 (118/119), 2-7.
- Höttecke, D. & Rieß, F. (2015). Naturwissenschaftliches Experimentieren im Lichte der jüngeren Wissenschaftsforschung - Auf der Suche nach einem authentischen Experimentbegriff der Fachdidaktik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21, 127-139.
- Huang, H.-J. (2008). Promoting Inquiry Through Laboratory Investigations. In M. V. Thomase (Hrsg.), *Science education in focus* (S. 307-319). New York: Nova Science Publishers.
- Hutter, C.-P., Blessing, K. & Köthe, R. (2012). *Grundkurs Nachhaltigkeit. Handbuch für Einsteiger und Fortgeschrittene*. München: Oekom.
- Ingram, S. & Parker, A. (2002). Gender and Modes of Collaboration in an Engineering Classroom. A Profile of Two Women on Student Teams. *Journal of Business and Technical Communication*, 16 (1), 33-68.
- Jahreiß, A. (2011). Gelenkt oder frei systemisch denken lernen? Empirische Überprüfung zweier Unterrichtsmodelle zur qualitativen Betrachtung von Geosystemen. *Geographie und Schule*, 33 (189), 34-40.
- Jank, W. & Meyer, H. (2009). *Didaktische Modelle* (9. Aufl.). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Jankisz, E. & Moosbrugger, H. (2007). Planung und Entwicklung von psychologischen Tests und Fragebögen. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (Springer-Lehrbuch, S. 27-72). Heidelberg: Springer.
- Jannack, V., Knemeyer, J.-P., Schallies, M. & Marmé, N. (2015). Problemlösen im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU) / MNU Journal*, 68 (6), 363-369.
- Janssen, W. (1988). Naturerleben. *Unterricht Biologie*, 12 (137), 2-7.
- Jatzwauk, P. (2007). *Aufgaben im Biologieunterricht: eine Analyse der Merkmale und des didaktisch-methodischen Einsatzes von Aufgaben im Biologieunterricht*. Berlin: Logos.
- Jiang, F. & McComas, W. F. (2015). The Effects of Inquiry Teaching on Student Science Achievement and Attitudes: Evidence from Propensity Score Analysis of PISA Data. *International Journal of Science Education*, 37 (3), 554-576.
- Johnson, M. A. & Lawson, A. E. (1998). What Are the Relative Effects of Reasoning Ability and Prior Knowledge on Biology Achievement in Expository and Inquiry Classes? *Journal of Research in Science Teaching*, 35 (1), 89-103.
- Jonas-Ahrend, G. (2004). *Physiklehrervorstellungen zum Experiment im Physikunterricht*. Berlin: Logos.
- Jonkisz, E., Moosbrugger, H. & Brandt, H. (2007). Planung und Entwicklung von psychologischen Tests und Fragebogen. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (Springer-Lehrbuch, S. 27-72). Heidelberg: Springer.
- Jordan, A. & Vom Hofe, R. (2008). Diagnose von Schülerleistungen. "Schlüssel" zur individuellen Förderung. *Mathematik lehren* (150), 4-11.
- Jüttner, M. & Neuhaus, B. J. (2010). Vom Schülerfehler zum fachdidaktischen Wissenstest. Ansätze zur Entwicklung von Items, die das fachdidaktische Wissen von Biologielehrkräften prüfen. In U. Harms & I. Mackensen-Friedrichs (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. Bd. 4. "Heterogenität erfassen - individuell fördern im Biologieunterricht"*. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Kiel 2009. (S. 27-39). Innsbruck: Studien Verlag.

- Kahlert, J. & Demuth, R. (Hrsg.). (2007). *Wir experimentieren in der Grundschule. Einfache Versuche zum Verständnis physikalischer und chemischer Zusammenhänge. Teil 1: Luft, Schwimmen und Sinken, Elektrizität, Magnetismus, Feuer, Schall*. Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Kahlert, J. & Demuth, R. (Hrsg.). (2008). *Einfache Versuche zum Verständnis physikalischer und chemischer Zusammenhänge. Teil 2: Stoffe und ihre Eigenschaften, Energie, Licht und Sehen, Spiegel, Wetter, Nahrung*. Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Kambach, M. & Upmeyer zu Belzen, Annette (2015). Experimentierkompetenzen von Lehramtsstudierenden der Biologie. In U. Gebhard, M. Hammann & B. Knälmann (Hrsg.), *Abstractband "Bildung durch Biologieunterricht". 20. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBio und des Forums Fachdidaktik & Schulbiologie. 14.-17. September 2015. Universität Hamburg* (S. 192-193). Hamburg. Zugriff am 23.09.2015. Online-Veröffentlichung: <http://bildungdurchbiologie2015.de/Abstractband.pdf>.
- Kambach, M. & Upmeyer zu Belzen, Annette (2016). Wie experimentieren Lehramtsstudierende der Biologie? Prozessmuster und Niveaustufen zu zwei Fallbeispielen im Vergleich. In U. Gebhard & M. Hammann (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. "Bildung durch Biologieunterricht". Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Hamburg 2015* (Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik, Bd. 7, S. 229-246). Innsbruck: Studienverlag.
- Kattmann, U. (1971). Behandlung von Grenzfragen zur Philosophie im Biologieunterricht. Teil I: Grundsatzüberlegungen. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 24 (5), 262-268.
- Kattmann, U. (2000). Lernmotivation und Interesse im Biologieunterricht. In H. Bayrhuber & U. Unterbruner (Hrsg.), *Lehren und Lernen im Biologieunterricht* (S. 13-31). Innsbruck: Studien Verlag.
- Kattmann, U. (2013). Geschichte des Biologieunterrichts. In H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (9. Aufl., S. 125-141). Hallbergmoos: Aulis / Stark Verlagsgemeinschaft.
- Kauertz, A. (2014). Entwicklung eines Rasch-skalierten Leistungstests. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 341-353). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kauertz, A. & Fischer, H. E. (2009). Standards und Physikaufgaben. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (Springer-Lehrbuch, 2. Aufl., S. 663-688). Berlin: Springer.
- Kauertz, A., Fischer, H. E., Lau, A. & Neumann, K. (2008). Kompetenzmessung durch Leistungstests. Hilfe oder Druckmittel. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 61 (2), 75-79.
- Kauertz, A., Fischer, H. E., Mayer, J., Sumfleth, E. & Walpuski, M. (2010). Standardbezogene Kompetenzmodellierung in den Naturwissenschaften der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 135-153.
- Kaufmann, K., Chernyak, D. & Möller, A. (2016). Rollenzuteilungen in Kleingruppen beim Forschenden Lernen im Schülerlabor: Wirkung auf Aktivitätstypen, kooperative Lernprozesse und intrinsische Motivation. In U. Gebhard & M. Hammann (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. "Bildung durch Biologieunterricht". Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Hamburg 2015* (Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik, Bd. 7, S. 355-371). Innsbruck: Studienverlag.
- Kerschensteiner, G. (1963). *Wesen und Wert des naturwissenschaftlichen Unterrichts. (Erstauflage 1914)* (6. Aufl.). München: Oldenbourg.
- Keselman, A. (2003). Supporting Inquiry Learning by Promoting Normative Understanding of Multivariable Causality. *Journal of Research in Science Teaching*, 40 (9), 898-921.
- Khishfe, R. & Abd-El-Khalick, F. (2002). Influence of Explicit and Reflective versus Implicit inquiry-Oriented Instruction on Sixth Graders' Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (7), 551-578.
- Kiel, E. (2010). Unterrichtsforschung. In R. Tippelt & B. Schmidt (Hrsg.), *Handbuch Bildungsforschung* (3. Aufl., S. 773-790). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften | Springer Fachmedien.
- Killermann, W. (1996). Biology education in Germany: research into the effectiveness of different teaching methods. *International Journal of Science Education*, 18 (3), 333-346.
- Killermann, W., Hiering, P. & Starosta, B. (2008). *Biologieunterricht heute. Eine moderne Fachdidaktik* (Didaktik, 12., aktualisierte Aufl.). Donauwörth: Auer.
- Kim, S. Y. & Irving, K. E. (2010). History of Science as an Instructional Context: Student Learning in Genetics and Nature of Science. *Science & Education*, 19, 187-215.
- Kircher, E. (2008). Metatheoretische Reflexion - ein roter Faden im Physikunterricht. Anlässe zum Nachdenken über Physik erkennen und nutzen. *Unterricht Physik*, 19 (103), 12-16.
- Kircher, E. (2009). Über die Natur der Naturwissenschaften lernen. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (Springer-Lehrbuch, 2. Aufl., S. 763-798). Berlin: Springer.
- Kircher, E. & Dittmer, A. (2004). Lehren und lernen über die Natur der Naturwissenschaften - ein Überblick. In C. Hößle, D. Höttecke & E. Kircher (Hrsg.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften* (S. 2-22). Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.
- Kirchner, S. & Priemer, B. (2010). Welche Kompetenzen zeigen Schüler beim Umgang mit Variablen? In D. Höttecke (Hrsg.), *Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Dresden 2009* (S. 206-208). Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41 (2), 75-86.
- Kizil, A. & Kattmann, U. (2013). Ein neues Design fürs Experimentieren. Eine empirische Untersuchung. In M. Komorek & S. Prediger (Hrsg.), *Der lange Weg zum Unterrichtsdesign. Zur Begründung und Umsetzung fachdidaktischer Forschungs- und Entwicklungsprogramme* (Fachdidaktische Forschungen, Bd. 5, S. 187-201). Münster: Waxmann.
- Klaes, E. (2008). *Außerschulische Lernorte im naturwissenschaftlichen Unterricht - Die Perspektive der Lehrkraft*. Berlin: Logos.
- Klafki, W. (1998). Schlüsselprobleme der modernen Welt und die Aufgaben der Schule – Grundlinien einer neuen Allgemeinbildungskonzeption internationaler/interkultureller Perspektive. In I. Gogolin, M. Krüger-Potratz & M. Meyer (Hrsg.), *Pluralität und Bildung* (Schriften der Deutschen Gesellschaft für Erziehungswissenschaften, S. 235-249). Opladen: Leske und Budrich.

- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual Space Search During Scientific Reasoning. *Cognitive Science* (12), 1-48.
- Klahr, D., Fay A. L. & Dunbar, K. (1993). Heuristics for Scientific Experimentation: A Developmental Study. *Cognitive Psychology* (25), 111-146.
- Klahr, D. (2013). What do we mean? On the importance of not abandoning scientific rigor when talking about science education. *PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences - Colloquiums on The Science of Science Communication)*, 110 (3), 14075-14080. Verfügbar unter www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1212738110
- Klahr, D.; unter Mitarbeit von K. Dunbar (2000). *Exploring science. The cognition and development of discovery processes*. Cambridge: MIT Press.
- Klahr, D. & Nigam, M. (2004). The Equivalence of Learning Paths in Early Science Instruction. Effects of Direct Instruction and Discovery Learning. *Psychological Science*, 15 (10), 661-667.
- Klahr, D. & Simon, H. A. (1999). Studies of Scientific Discovery: Complementary Approaches and Convergent Findings. *Psychological Bulletin*, 125 (5), 524-543.
- Klautke, S. (1990). Für und wider das Experiment im Biologieunterricht. In W. Killermann & L. Staeck (Hrsg.), *Methoden des Biologieunterrichtes. Bericht über die Tagung der Sektion Fachdidaktik im Verband Deutscher Biologen in Herrsching, 2.10. - 6.10.1989* (S. 70-82). Köln: Aulis-Verl. Deubner.
- Klautke, S. (1997). Ist das Experimentieren im Biologieunterricht noch zeitgemäß? Herrn Kollegen Prof. Dr. Wilhelm Killermann zur Emeritierung gewidmet. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 50 (6), 323-329.
- Klieme, E., Artelt, C., Hartig, J., Jude, N., Köller, O., Prenzel, M. et al. (Hrsg.). (2010). *PISA 2009. Bilanz nach einem Jahrzehnt*. Münster: Waxmann. Zugriff am 28.05.2015. Verfügbar unter http://www.phil-fak.uni-duesseldorf.de/fileadmin/Redaktion/Institute/Sozialwissenschaften/BF/Lehre/Materialien/Pisa/PISA_2009_Bilanz_nach_einem_Jahrzehnt.pdf
- Klieme, E., Funke, J., Leutner, D., Reimann, P. & Wirth, J. (2001). Problemlösen als fächerübergreifende Kompetenz. Konzeption und erste Resultate aus einer Schulleistungsstudie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 47 (2), 179-200.
- Klieme, E. & Hartig, J. (2008). Kompetenzkonzepte in den Sozialwissenschaften und im erziehungswissenschaftlichen Diskurs. In M. Prenzel, I. Gogolin & H.-H. Krüger (Hrsg.), *Kompetenzdiagnostik. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* (Zeitschrift für Erziehungswissenschaft Sonderheft, Bd. 8, S. 11-29). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Klingenberg, K. (2011). Lebende Tiere in der Schule. Rahmenbedingungen bei Verwendung, Haltung und Beschaffung – Teil 1. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 64 (4), 196-199.
- Klingenberg, K. (2011). Lebende Tiere in der Schule. Rahmenbedingungen bei Verwendung, Haltung und Beschaffung – Teil 2. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 64 (5), 267-272.
- Klingenberg, K. (2011). Lebende Tiere in der Schule. Rahmenbedingungen bei Verwendung, Haltung und Beschaffung – Teil 3. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 64 (6), 359-361.
- Klos, S. (2008). *Kompetenzförderung im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht. Der Einfluss eines integrierten Unterrichtskonzepts* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 89). Berlin: Logos.
- Klos, S., Henke, C., Kieren, C., Walpuski, M. & Sumfleth, E. (2008). Naturwissenschaftliches Experimentieren und chemisches Fachwissen - zwei verschiedene Kompetenzen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 54 (3), 304-321.
- Klusmann, U. & Lüdtke, O. (2016). Teachers' Emotional Exhaustion and Students' Achievement. In J. Arnold, O. Köller, I. Neumann, S. Petersen, U. Ringelband, K. Schütte et al. (Hrsg.), *IPN Research Report 2015/16* (S. 32-34). Kiel: Schmidt & Klausig / IPN.
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (Hrsg.). (2005). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004* (Beschlüsse der Kultusministerkonferenz). München: Wolters Kluwer.
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland). (2005). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*. Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Zugriff am 28.05.2015. Verfügbar unter http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland). (2005). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*. Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Zugriff am 28.05.2015. Verfügbar unter http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf
- KMK (Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2014). *Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004 i. d. F. vom 12.06.2014*. Zugriff am 08.02.2017. Verfügbar unter http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Standards-Lehrerbildung-Bildungswissenschaften.pdf
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland). (2015). *Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung. (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.10.2008 i. d. F. vom 11.06.2015)*. Zugriff am 30.09.2015. Verfügbar unter http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2008/2008_10_16-Fachprofile-Lehrerbildung.pdf
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland). (2016). *Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung. (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.10.2008 i. d. F. vom 06.10.2016)*. Zugriff am 08.02.2017. Verfügbar unter https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2008/2008_10_16-Fachprofile-Lehrerbildung.pdf
- Knickmeier, K. (2009). Modul 2: Naturwissenschaftliches Arbeiten. In M. Prenzel, A. Friedrich & M. Stadler (Hrsg.), *Von SINUS lernen - wie Unterrichtsentwicklung gelingt*. (Sinus-Transfer, 1. Aufl., S. 23-26). Seelze-Velber: Klett Kallmeyer.
- Koenen, J., Emden, M. & Sumfleth, E. (2017). Naturwissenschaftlich-experimentelles Arbeiten. Potenziale des Lernens mit Lösungsbeispielen und Experimentierboxen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23, 1-18.

- Koenen, J., Kölbach, E., Emden, M. & Sumfleth, E. (2014). Lösungsbeispiele im Chemieunterricht. Entwicklung und Evaluation verschiedener Formen von Lösungsbeispielen. In B. Ralle, S. Prediger, M. Hammann & M. Rothgangel (Hrsg.), *Lernaufgaben entwickeln, bearbeiten und überprüfen. Ergebnisse und Perspektiven fachdidaktischer Forschung* (Fachdidaktische Forschungen, Bd. 6, S. 139-148). Münster, New York: Waxmann.
- Koerber, S. (2006). Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens bei Vier- bis Achtjährigen. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 24 (2), 192-201.
- Kögel, A., Regel, M., Gehlhaar, K.-H. & Klepel, G. (2000). Biologieinteressen der Schüler. Erste Ergebnisse einer Interviewstudie. In H. Bayrhuber & U. Unterbruner (Hrsg.), *Lehren und Lernen im Biologieunterricht* (S. 32-45). Innsbruck: Studien Verlag.
- Köhler, K. (2008). Nach welchen Prinzipien kann Biologieunterricht gestaltet werden? In U. Spörhase-Eichmann & W. Ruppert (Hrsg.), *Biologie-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (3. Aufl., S. 124-145). Berlin: Cornelsen.
- Köhler, K. (2008). Welche fachgemäßen Arbeitsweisen werden im Biologieunterricht eingesetzt? In U. Spörhase-Eichmann & W. Ruppert (Hrsg.), *Biologie-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (3. Aufl., S. 146-159). Berlin: Cornelsen.
- Köhler, K. (2012). Nach welchen Prinzipien kann Biologieunterricht gestaltet werden? In U. Spörhase (Hrsg.), *Biologie Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (5. Aufl., S. 112-129). Berlin: Cornelsen.
- Köhler, K. & Meisert, A. (2012). Welche Erkenntnismethoden sind für den Biologieunterricht relevant? In U. Spörhase (Hrsg.), *Biologie Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (5. Aufl., S. 130-151). Berlin: Cornelsen.
- Köhnlein, W. (1991). Grundlegende Bildung und Curriculum des Sachunterrichts. In W. Biester (Hrsg.), *Denken über Natur und Technik. Zum Sachunterricht in der Grundschule* (S. 9-23). Bad Heilbrunn/Obb.: Klinkhardt.
- Kolhoff, W. (2017, 13. April). Manche Antwort ist mehr Wunsch als Realität. Die neue Studie zum Umweltbewusstsein der Deutschen bringt nicht zu allen Fragen eindeutige Aussagen. *Ludwigsburger Kreiszeitung*, S. 3.
- Köller, O. (2016). Preface. IPN - 50 Years of Research in Domain-Specific Teaching and Learning. In J. Arnold, O. Köller, I. Neumann, S. Petersen, U. Ringelband, K. Schütte et al. (Hrsg.), *IPN Research Report 2015/16* (S. 9-13). Kiel: Schmidt & Klaunig / IPN.
- Köller, O., Baumert, J. & Bos, W. (2002). TIMSS Third International Mathematics and Science Study. Dritte internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen* (Beltz Pädagogik, 2., unveränd. Aufl., Dr. nach Typoskript., S. 269-284). Weinheim: Beltz.
- Köller, O., Baumert, J. & Neubrand, J. (2000). Epistemologische Überzeugungen und Fachverständnis im Mathematik- und Physikunterricht. In J. Baumert, W. Bos & R. Lehmann (Hrsg.), *TIMSS/III. Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie - Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Band 1: Mathematische und naturwissenschaftliche Grundbildung am Ende der Pflichtschulzeit* (Bd. 2, S. 229-269). Opladen: Leske + Budrich.
- Komorek, M. & Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, 26 (5), 619-633.
- Korneck, F. & Picard, C. (2006). Schulung unterrichtsbezogener Kompetenzen in problemorientierten Lernumgebungen. In V. Nordmeier & A. Oberländer (Hrsg.), *Didaktik der Physik - Kassel 2006. CD zur Frühjahrstagung des Fachverbandes Didaktik der Physik in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*. Berlin: Lehmanns Media - LOB.de.
- Köster, E. (1994). *Problemlösen als Lernhandlung. Grundlagen der Ausbildung schöpferischen Denkens und Handelns in der Lernfähigkeit* (Schriftenreihe Erziehung - Unterricht - Bildung, Bd. 28). Hamburg: Kovac.
- Krämer, P., Nessler, S. & Schlüter, K. (2012). Probleme und Schwierigkeiten Lehramtsstudierender mit der Methode des Forschenden Lernens. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 11, 21-35. Zugriff am 25.07.2013. Verfügbar unter http://www.bcp.fu-berlin.de/biologie/arbeitsgruppen/didaktik/Erkenntnisweg/2012/Kr__mer.pdf?1362740351
- Krämer, P., Nessler, S. & Schlüter, K. (2013). Die Unterrichtsmethode des Forschenden Lernens - eine Herausforderung für Studierende und Dozenten. In J. Mayer, M. Hammann, N. Wellnitz, J. Arnold & M. Werner (Hrsg.), *Theorie - Empirie - Praxis. Abstractband. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBiO, 16.09. - 20.09.2013, Universität Kassel* (S. 154-155). Kassel: kassel university press.
- Krämer, P., Nessler, S. & Schlüter, K. (2015). Forschendes Lernen als Herausforderung für Studierende & Dozenten - Schlussfolgerungen und Lösungsvorschläge für die Lehramtsausbildung. In M. Hammann, J. Mayer & N. Wellnitz (Hrsg.), *Theorie, Empirie & Praxis". Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBiO, Kassel 2013* (Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik, Bd. 6, S. 121-136). Innsbruck: Studienverlag.
- Krämer, S. (2011). Brausepulver - eine prickelnde Mischung. Ein systematisches Training zum Protokolle schreiben. *Unterricht Chemie*, 22 (126), 23-28.
- Kranz, J. (2008). Experimente im Chemieunterricht. In J. Kranz & J. Schorn (Hrsg.), *Chemie Methodik. Handbuch für die Sekundarstufe I und II* (S. 112-118). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Krapp, A. & Weidenmann, B. (Hrsg.). (2006). *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (5., vollst. überarb. Aufl.). Weinheim: Beltz PVU.
- Krell, M. (2015, September). *Komplexität, Teilkompetenz und Kontext als schwierigkeiterzeugende Aufgabenmerkmale eines Multiple-Choice-Tests zum Experimentieren*. Bildung durch Biologieunterricht. 20. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBio und des Forums Fachdidaktik & Schulbiologie. Universität Hamburg. 14.-17. September 2015, Hamburg. Auf Anfrage zugemailt (moritz.krell@fu-berlin.de)
- Krell, M. & Vierarm, A. (2016). Analyse schwierigkeiterzeugender Aufgabenmerkmale bei einem Multiple-Choice-Test zum Experimentieren. In U. Gebhard & M. Hammann (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. "Bildung durch Biologieunterricht". Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBiO, Hamburg 2015* (Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik, Bd. 7, S. 283-298). Innsbruck: Studienverlag.
- Kremer, A. & Schlüter, K. (2008). Analyse des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses beim forschend-entwickelnden Lernen im Fach Biologie – Gehen Schüler so vor, wie wir es erwarten? In U. Harms & A. Sandmann (Hrsg.), *Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBiO, Essen 2007* (Forschungen zur Fachdidaktik, Bd. 10, S. 43-46). Innsbruck: StudienVerl.

- Kremer, A. & Schlüter, K. (2008). "Machen wir das doch mal so wie draußen". Wie forschen SchülerInnen zur natürlichen Gewässerreinigung? Erkenntniswege und Problemlösevorgänge. In U. Harms & A. Sandmann (Hrsg.), *Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Essen 2007* (Forschungen zur Fachdidaktik, Bd. 10, S. 45-62). Innsbruck: StudienVerl.
- Kremer, K. & Mayer, J. (2009). Wissenschaftstheoretisch Reflexion als Kompetenz messen - Ein Beitrag zur Evaluation der Bildungsstandards im Fach Biologie. In U. Harms (Hrsg.), *Heterogenität erfassen. Individuell fördern im Biologieunterricht. Internationale Tagung der FDdB, Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO ; 25. - 29. September 2009* (S. 102-103). Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Kremer, K. & Mayer, J. (2013). Entwicklung und Stabilität von Vorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 77-101. Zugriff am 20.11.2013. Verfügbar unter http://www.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/19_Kremer.pdf
- Kremer, K., Specht, C., Urhahne, D. & Mayer, J. (2014). The relationship in biology between the nature of science and scientific inquiry. *Journal of Biological Education*, 48 (1), 1-8.
- Kremer, K., Urhahne, D. & Mayer, J. (2007). Das Verständnis von der Natur der Naturwissenschaften als Kompetenzdimension der Erkenntnisgewinnung. In H. Bayrhuber, U. Harms, D. Krüger, A. Sandmann, U. Unterbruner, Upmeier zu Belzen, Annette et al. (Hrsg.), *Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Abstracts. Internationale Tagung der Fachgruppe Biologiedidaktik im VBIO - Verband Biologie, Biowissenschaften & Biomedizin. 16.09. bis 20.09.2007 in Essen* (S. 47-50). Essen. Zugriff am 2007 (Tagungsband).
- Kremer, K., Urhahne, D. & Mayer, J. (2008). Naturwissenschaftsverständnis und wissenschaftliches Denken bei Schülerinnen und Schülern der Sek. I. In U. Harms & A. Sandmann (Hrsg.), *Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Essen 2007* (Forschungen zur Fachdidaktik, Bd. 10, S. 29-43). Innsbruck: StudienVerl.
- Kremer, M. (Deutscher Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts e. V., Hrsg.). (2012). *Grundbildung in den naturwissenschaftlichen Fächern - Basiskompetenzen - Denkanstöße und Empfehlungen zum Erwerb dauerhaft verfügbarer Kompetenzen bis zum mittleren Schulabschluss im Gymnasium und vergleichbaren Schulformen*. MNU Themenreihe Bildungsstandards. Zugriff am 06.01.2014. Verfügbar unter <http://www.mnu.de/images/Dokumente/Biologie/033.083-MNU-BS-2012.pdf>
- Krüger, D. (2007). Die Conceptual Change-Theorie. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (Springer-Lehrbuch, S. 81-92). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kruse, A. & Denz, C. (2015). Von Black-Box-Experimenten zur Verifikation von Werbeslogans. Problemorientiertes Experimentieren über die Natur der Naturwissenschaften. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 68 (5), 288-293.
- Kuhl, P., Siegle, T. & Lenski, A. E. (2013). Soziale Disparitäten. In H. A. Pant, P. Stanat, U. Schroeders, A. Roppelt, T. Siegle & C. Pöhlmann (Hrsg.), *IQB-Ländervergleich 2012. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I* (S. 275-296). Münster: Waxmann.
- Kuhn, D. (2001). How do people know? *Psychological Science*, 12 (1), 1-8.
- Kuhn, D., Schauble, L. & Garcia-Mila, M. (1992). Cross-Domain Development of Scientific Reasoning. *Cognition and Instruction*, 9 (4), 285-327.
- Kuhn, J. (2003). Rettung in letzter Sekunde. Selbstständiges naturwissenschaftliches Arbeiten in der Orientierungsstufe. *Unterricht Physik*, 14 (74), 12 (62) - 16 (66).
- Künsting, J. (2007). *Effekte von Zielqualität und Zielspezifität auf selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren. Dissertation, Universität Duisburg-Essen, Campus Essen*. Zugriff am 10.08.2010. Verfügbar unter: http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DocumentServlet/Document-18503/Diss_Josef_K%C3%BCnsting_07.12.2007.pdf.
- Künsting, J., Thillmann, H., Wirth, J., Fischer, H. E. & Leutner, D. (2008). Strategisches Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 55 (1), 1-15.
- Kunter, M., Stanat, P. & Klieme, E. (2005). Die Rolle von individuellen Eingangsvoraussetzungen und Gruppenmerkmalen beim kooperativen Lösen eines Problems. In E. Klieme, D. Leutner & J. Wirth (Hrsg.), *Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern* (S. 99 – 115). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften/GWV Fachverlage.
- Kunz, P. & Bollmann-Zuberbühler, B. (2008). Wie lässt sich Systemdenken operationalisieren und messen? In U. Frischknecht-Tobler, U. Nagel & H. Seybold (Hrsg.), *Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen* (S. 53-69). Zürich: Verlag Pestalozzianum an der Pädagogischen Hochschule Zürich.
- Labudde, P., Duit, R., Fickermann, D., Fischer, H., Harms, U., Mikelskis, H. et al. (2009). Schwerpunkttagung "Kompetenzmodelle und Bildungsstandards: Aufgaben für die naturwissenschaftsdidaktische Forschung". *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, o. S.
- Labudde, P. & Möller, K. (2012). Stichwort: Naturwissenschaftlicher Unterricht. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 15 (1), 11-36.
- Lamberty, M. (2007). Experimente [zur Lernkartei III: Boden; *geographie heute* 161]. *geographie heute*. Sammelband 5066. Lernkartei (Dynamische Erde, Wetter und Klima, Boden, Landschaftsökologie, Wirtschaft, Stadt)]. *geographie heute* (53-56).
- Land Baden-Württemberg. *Schulgesetz für Baden-Württemberg (SchG) in der Fassung vom 1. August 1983. Stand: letzte berücksichtigte Änderung: § 15 geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 23. Februar 2016 (GBl. S. 163)*, Land Baden-Württemberg. Gesetzesblätter, 1983, 397; Kultus und Unterricht, 1983, 584. Zugriff am 22.02.2017. Verfügbar unter http://www.lan-desrecht-bw.de/portal/portal/t/boz/page/bsbawueprod.psm1?pid=Dokumentanzeige&showdoccase=1&js_peid=Trefferliste&fromdocdoc=yes&doc.id=jlr-SchulGBW1983pG1&doc.part=X&doc.price=0.0&doc.hl=0#jlr-SchulGBW1983rahmen
- Landesinstitut für Erziehung und Unterricht Stuttgart (Hrsg.). (1998), *Der Wald. Teil 1. Materialien. Fächerverbindende Themen FTh 515*. Stuttgart: Landesinstitut für Erziehung und Unterricht / E. Kurz & Co., Druckerei und Reprografie GmbH.
- Landwehr, K. (2012). *Die 111 interessantesten Experimente für Kinder*. Buxtehude: Verlag an der Este (Lizenzausgabe); München: Compact Verlag.

- Langlet, J. (2001). Wissenschaft - entdecken & begreifen. *Unterricht Biologie*, 25 (268), 4-12.
- Langlet, J. (2008). Kompetenzen und Kontexte. *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule*, 57 (6), 39-40.
- Langlet, J. (2013). Kultur der Naturwissenschaften. In H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (9. Aufl., S. 80-97). Hallbergmoos: Aulis / Stark Verlagsgemeinschaft.
- Langlet, J. & Asselborn, W.. (2001). Biologieunterricht und Bildung. Die besondere Bedeutung des Faches Biologie zur Kompetenzentwicklung bei Schülerinnen und Schülern. Empfehlungen zur Gestaltung von Lehrplänen und Richtlinien für den Biologieunterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)* (2), III-XIII.
- Lawson, A. E. (2003). The nature and development of hypothetico-predictive argumentation with implications for science teaching. *International Journal of Science Education*, 25 (11), 1387-1408.
- Lederman, N. G. (2006). Syntax of Nature of Science within Inquiry and Science Instruction. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Hrsg.), *Scientific Inquiry and Nature of Science. Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education* (S. 301-317). Dordrecht (Niederlande): Springer.
- Lehnert, H.-J. & Köhler, K. (2012). Welche Lernorte eignen sich für den Biologieunterricht? In U. Spörhase (Hrsg.), *Biologie Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (5. Aufl., S. 175-189). Berlin: Cornelsen.
- Lehnert, H.-J. & Köhler, K. (2012). Welche Medien werden im Biologieunterricht genutzt? In U. Spörhase (Hrsg.), *Biologie Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (5. Aufl., S. 152-174). Berlin: Cornelsen.
- Lehrer, R. & Schauble, L. (2006). Cultivating Model-Based Reasoning in Science Education. In R. K. Sawyer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of the learning* (S. 371-387). New York / Cambridge: Cambridge University Press.
- Leisen, J. (2003). Methoden-Werkzeuge. Neue Erfahrungen mit bekannten Materialien. *Unterricht Physik*, 14 (75/76), 6-12.
- Leisen, J. (2003). Satzbaukasten. *Unterricht Physik*, 14 (75/76), 26-27.
- Leiß, D. & Wiegand, B. (2006). Mathematische Kompetenz: PISA - SINUS - Bildungsstandards. Mit einer Einführung von Werner Blum. In U. Steffens & R. Messner (Hrsg.), *PISA macht Schule. Konzeptionen und Praxisbeispiele zur neuen Aufgabenkultur* (Folgerungen aus PISA für Schule und Unterricht, Bd. 3, 1. Aufl., S. 63-126). Wiesbaden: Inst. für Qualitätsentwicklung.
- Lembens, A. & Bartosch, I. (2012). Genderforschung in der Chemie- und Physikdidaktik. In M. Kampshoff & C. Wiepcke (Hrsg.), *Handbuch Geschlechterforschung Fachdidaktik* (S. 83-97). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften | Springer Fachmedien.
- Lengnink, K. & Leuders, T. (2008). Probier's doch mal! Mit Beispielen experimentieren. *PM : Praxis der Mathematik in der Schule*, 50 (23), 1-6.
- Leopold, C., den Elzen-Rump, V. & Leutner, D. (2006). Selbstreguliertes Lernen aus Sachtexten. In M. Prenzel & L. Allolio-Näcke (Hrsg.), *Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule. Abschlussbericht des DFG-Schwerpunktprogramms ; [BIQUA]* (S. 268-288). Münster: Waxmann.
- Leopold, C. & Leutner, D. (2002). Der Einsatz von Lernstrategien in einer konkreten Lernsituation bei Schülern unterschiedlicher Jahrgangsstufen. In M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen. Zeitschrift für Pädagogik - 45. Beiheft* (S. 240-258). Einheim: Beltz.
- Lersch, R. (2007). Kompetenzfördernd unterrichten. 22 Schritte von der Theorie zur Praxis. *Pädagogik (Weinheim)*, 59 (12), 36-43.
- Lethmate, J. (2003). Sind "geographische Experimente" Experimente? *Praxis Geographie* (3), 42-43.
- Lethmate, J. (2006). Experimentelle Lehrformen und Scientific Literacy. *Praxis Geographie* (11), 4-11.
- Lethmate, J. (2009). Ökosystemforschung, ökosystemares Lernen und handlungsökologischer Unterricht. *Praxis Geographie* (10), 4-9.
- Leuders, T. (Hrsg.). (2009a). *Mathematik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (4. Aufl.). Berlin: Cornelsen-Scriptor.
- Leuders, T., Naccarella, D. & Philipp, K. (2011). Experimentelles Denken - Vorgehensweisen beim innermathematischen Experimentieren. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 32 (2), 205-231.
- Leutner, D., Fleischer J., Klieme, E. & Wirth J. (2005). Problemlösefähigkeit als fächerübergreifende Kompetenz. In E. Klieme, D. Leutner & J. Wirth (Hrsg.), *Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern. Diagnostische Ansätze, theoretische Grundlagen und empirische Befunde der deutschen PISA-2000-Studie* (1. Aufl., S. 11-19). Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwiss.
- Leutner, D., Fleischer, J., Spoden, C. & Wirth, J. (2007). Landesweite Lernstandserhebungen zwischen Bildungsmonitoring und Individualdiagnostik. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 10 (8), 149-167.
- Leutner, D., Wirth, J., Klieme, E. & Funke, J. (2005). Ansätze zur Operationalisierung [von Problemlösefähigkeit] und deren Erprobung im Feldtest zu PISA 2000. In E. Klieme, D. Leutner & J. Wirth (Hrsg.), *Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern. Diagnostische Ansätze, theoretische Grundlagen und empirische Befunde der deutschen PISA-2000-Studie* (1. Aufl., S. 21-36). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Levin, A. & Arnold, K.-H. (2008). Fragen stellen, um Antworten zu erhalten - oder Fragen generieren, um zu lernen? *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 22 (2), 135-142.
- Lewis, J. (2000). Making the Science Relevant: Classroom Discussion of Social Issues with a Science Content. In H. Bayrhuber & U. Unterbruner (Hrsg.), *Lehren und Lernen im Biologieunterricht* (S. 107-119). Innsbruck: Studien Verlag.
- Lindemann-Matthies, P. & Stelzig, I. (2012). Umweltbildung. In U. Spörhase (Hrsg.), *Biologie Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (5. Aufl., S. 216-224). Berlin: Cornelsen.
- Lipowsky, F. (2010). Lernen im Beruf. Empirische Befunde zur Wirksamkeit von Lehrerfortbildung. In H. Müller, A. Eichenberger, M. Lüders & J. Mayr (Hrsg.), *Lehrerinnen und Lehrer lernen. Konzepte und Befunde zur Lehrerfortbildung* (S. 51-70). Münster: Waxmann.

- LISA (Landesinstitut für Lehrerfortbildung, L. u. U. S.-A. (Hrsg.). (2003). *Zur systematischen Entwicklung experimenteller Kompetenzen im naturwissenschaftlichen Unterricht. "Naturwissenschaftliches Arbeiten". Modul 2. Halle (Saale) / Dresden: Polydruck*. Zugriff am 29.08.2012. Verfügbar unter <http://www.bildung-lsa.de/archiv/sinus/modul2.pdf>
- Löwe, B. (1987). Interessenverfall im Biologieunterricht. Ergebnisse empirischer Forschung. *Unterricht Biologie*, 11 (124), 62-65.
- Löwe, B. (1990). Biologische Arbeitsweisen im Spiegel der Schülerinteressen. In W. Killermann & L. Staeck (Hrsg.), *Methoden des Biologieunterrichtes. Bericht über die Tagung der Sektion Fachdidaktik im Verband Deutscher Biologen in Herrsching, 2.10. - 6.10.1989* (S. 265-279). Köln: Aulis-Verlag Deubner.
- Lucadou, W. von (1995). *Psyche und Chaos. Theorien der Parapsychologie*. Frankfurt am Main: Insel Verlag.
- Lucius, E. R. (2000). Versuchskästen - Erleichterung im Schulalltag. *Unterricht Biologie*, 24 (251), 4-9.
- Lücken, M. & Schroeter, B. ((2008(?)) bik - Biologie im Kontext [CD-Rom]. Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften. Verfügbar unter www.bik.ipn.uni-kiel.de
- Lücken, M. ((2008)). *NEWSletter bik - Biologie im Kontext. Nr. 3*. Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften / New Communication.
- Ludwig, M. & Oldenburg, R. (2007). Lernen durch Experimentieren. Handlungsorientierte Zugänge zur Mathematik. *Mathematik lehren* (141), 4-11.
- Lunetta, V. N. (1998). The School Science Laboratory: Historical Perspectives and Contexts for Contemporary Teaching. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Hrsg.), *International Handbook of Science Education. Part one* (S. 249-262). Dordrecht, Niederlande: Kluwer Academic Publishers.
- Lunetta, V. N., Hofstein, A. & Clough, M. P. (2007). Learning and Teaching in the School Science Laboratory: An Analysis of Research, Theory, and Practice. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of research on science education* (S. 393-441). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Magnusson, S. J., Sullivan Palincsar, A. & Templin, M. (2006). Community, Culture, and Conversation in Inquiry-Based Science Instruction. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Hrsg.), *Scientific Inquiry and Nature of Science. Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education* (S. 131-155). Dordrecht (Niederlande): Springer.
- Mähler, C. & Stern, E. (2006). Transfer. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (Schlüsselbegriffe, 3., überarb. und erw. Aufl., S. 782-793). Weinheim: Beltz PVU.
- Maiseyenko, V. (2014). *Modellbasiertes Experimentieren im Unterricht. Praxistauglichkeit und Lernwirkungen* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 166). Berlin: Logos.
- Mandl, H. & Kopp, B. (2003). Auf dem Weg zu einer neuen Lehr-Lern-Kultur. In H. Altenberger, P. Schettgen & M. Scholz (Hrsg.), *Innovative Ansätze konstruktiven Lernens* (Praktische Erlebnispädagogik, S. 70-88). Augsburg: ZIEL - Zentrum für interdisziplinäres erfahrungsorientiertes Lernen GmbH.
- Mandl, H. & Kopp, B. (2005). Situated learning: Theories and models. In P. Nentwig & D. Waddington (Hrsg.), *Making it relevant. Context based learning of science* (S. 15-34). Münster: Waxmann.
- Mannel, S., Walpuski, M. & Sumfleth, E. (2015). Erkenntnisgewinnung: Schülerkompetenzen zu Beginn der Jahrgangsstufe 5 im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21, 99-110.
- Marsch, S., Hartwig, C. & Krüger, D. (2009). Lehren und Lernen im Biologieunterricht. Ein Kategoriensystem zur Beurteilung konstruktivistisch orientierter Lernumgebungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 109-130.
- Marsch, S. & Krüger, D. (2008). Vorstellungen von Biologielehrern - Metaphern zum Lehren und Lernen. In U. Harms & A. Sandmann (Hrsg.), *Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBiO, Essen 2007* (Forschungen zur Fachdidaktik, Bd. 10, 253-169). Innsbruck: StudienVerlag.
- Martinez, M. E. (1999). Cognition and the Question of Test Item Format. *Educational Psychologist*, 34 (4), 207-218.
- Martius, T., Delvenne, L. & Schlüter, K. (2016). Forschendes Lernen. Verschiedene Konzepte, ein gemeinsamer Kern? *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU) / MNU Journal*, 69 (4), 220-228.
- Mathesius, S., Upmeier zu Belzen, A. & Krüger, D. (2014). Kompetenzen von Biologiestudierenden im Bereich der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. Entwicklung eines Testinstruments. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 73-88. Zugriff am 26.06.2015. Verfügbar unter http://www.bcp.fu-berlin.de/biologie/arbeitsgruppen/didaktik/Erkenntnisweg/2014/Mathesius_S.pdf
- Mayer, J. (2002). *Vom Schulversuch zum Forschenden Unterricht. - Wissenschaftliches Arbeiten im Biologieunterricht am Beispiel der Fotosynthese. Workshop zum BLK-Programm "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts"*. Zugriff am 21.09.2012. Verfügbar unter <http://sinus-transfer.uni-bayreuth.de/fileadmin/MaterialienDB/61/Photosynthese.doc>
- Mayer, J. (2004). Qualitätsentwicklung im Biologieunterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 57 (2), 92-99.
- Mayer, J. (2005). Natur zwischen Wissenschaft und Ästhetik. Mehrperspektivischer Naturzugang im Biologieunterricht. In L. Duncker, W. Sander & C. Surkamp (Hrsg.), *Perspektivenvielfalt im Unterricht* (S. 49-59). Stuttgart: Kohlhammer.
- Mayer, J. (2006). Zusammenhänge experimentell erforschen. *Unterricht Biologie*, 30 (318), 22-28.
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (Springer-Lehrbuch, S. 177-186). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Mayer, J. (2013). Erkenntnisse mit naturwissenschaftlichen Methoden gewinnen. In H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (9. Aufl., S. 56-61). Hallbergmoos: Aulis / Stark Verlagsgemeinschaft.
- Mayer, J. (2014). Forschendes Lernen. In U. Spörhase & W. Ruppert (Hrsg.), *Biologie-Methodik. Handbuch für die Sekundarstufe I und II* (2. Aufl., S. 107-113). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Mayer, J., Grube, C. & Möller, A. (2008). Kompetenzmodell naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. In U. Harms & A. Sandmann (Hrsg.), *Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBiO, Essen 2007* (Forschungen zur Fachdidaktik, Bd. 10, S. 63-79). Innsbruck: StudienVerl.

- Mayer, J. & Wellnitz, N. (2014). Die Entwicklung von Kompetenzstrukturmodellen. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 19-29). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Mayer, J. & Ziemek, H.-P. (2006). Offenes Experimentieren. Forschendes Lernen im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie*, 30 (317), 4-12.
- Mayer, R. E. (1998). *The Promise of Educational Psychology. Learning in the Content Areas* (The promise of educational psychology, / Richard E. Mayer; Vol. 1). Upper Saddle River, NJ: Merrill. Zugriff am 24.08.2009. Verfügbar unter <http://www.gbv.de/dms/bowker/toc/9780139130137.pdf>
- McBride, B. B., Brewer, C. A., Berkowitz, A. R. & Borrie, W. T. (2013). Environmental literacy, ecological literacy, ecoliteracy. What do we mean and how did we get here? *Ecosphere*, 4 (5, art. 67), 1-20. Zugriff am 14.07.2015. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1890/ES13-00075.1>
- McGinn, M. K. & Roth, W.-M. (1999). Preparing Students for Competent Scientific Practice: Implications of Recent Research in Science and Technology Studies. *Educational Researcher*, 28, 14-24.
- Meier, M. (2016). *Entwicklung und Prüfung eines Instrumentes zur Diagnose der Experimentierkompetenz von Schülerinnen und Schülern* (Biologie lernen und lehren, Bd. 13). Berlin: Logos.
- Meier, M., Lorenzana, E. & Pfromm, J. (2016). Experimentieren verstehen. Mit Concept Cartoons diagnostizieren und reflektieren. *Unterricht Biologie*, 40 (417), 26-31.
- Meier, M. & Mayer, J. (2011). Gewusst Vee! Ein Diagnoseinstrument zur Erfassung von Konzept- und Methodenwissen im Biologieunterricht. In A. Fächter & K. Moegling (Hrsg.), *Diagnostik und Förderung. Teil II: Beispiele aus der Unterrichtspraxis* (Theorie und Praxis der Schulpädagogik, Bd. 15, S. 121-139). Immenhausen bei Kassel: Prolog.
- Meier, M. & Mayer, J. (2012). Experimentierkompetenz praktisch erfassen - Entwicklung und Validierung eines anwendungsbezogenen Aufgabendesigns. In U. Harms & F. X. Bogner (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. "Didaktik der Biologie - Standortbestimmung und Perspektiven". Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Bayreuth, 2011* (Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik, Bd. 5, S. 81-98). Innsbruck: Studienverlag.
- Meier, M. & Mayer, J. (2013). Entwicklung und Prüfung eines Instruments zur Diagnose von Experimentierkompetenz. In J. Mayer, M. Hammann, N. Wellnitz, J. Arnold & M. Werner (Hrsg.), *Theorie - Empirie - Praxis. Abstractband. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBIO und des Forums Fachdidaktik & Schulbiologie. 14.-17. September 2015. Universität Hamburg* (S. 103-104). Hamburg: Online-Veröffentlichung: <http://bildungdurchbiologie2015.de/Abstractband.pdf>.
- Meier, M. & Wellnitz, N. (2013). Beobachten, Vergleichen und Experimentieren mit Wasserflöhen. Biologische Erkenntnismethoden praktisch anwenden. *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule*, 62 (1), 4-10.
- Meier, M. & Wulff, C. (2012). Auge in Auge mit dem Wasserfloh. Neugier wecken - Selbstständigkeit stärken - Experimentieren lernen. *Biologie in unserer Zeit*, 42 (1), 49-55.
- Meier, M. & Wulff, C. (2013). Experimentier-Werkstatt Biologie FLOX. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 66 (8), 485-490.
- Meisert, A. (2007). Über den Umgang mit Hypothesen. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 60 (7), 431-437.
- Meisert, A. (2009). Modelle in der Biologie. Wie lässt sich im Unterricht ein Verständnis für ihre Bedeutung fördern? *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 62 (7), 424-430.
- Meisert, A. (2012). Bewerten. In U. Spörhase (Hrsg.), *Biologie Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (5. Aufl., S. 225-240). Berlin: Cornelsen.
- Meisert, A. (2012). Mit Modellen arbeiten. In H. Weitzel & S. Schaal (Hrsg.), *Biologie unterrichten: planen, durchführen, reflektieren* (S. 105-117). Berlin: Cornelsen.
- Meixner, J. & Müller, K. (2004). *Angewandter Konstruktivismus. Ein Handbuch für die Bildungsarbeit in Schule und Beruf* (Berichte aus der Pädagogik). Aachen: Shaker.
- Merzyn, G. (2008). *Naturwissenschaften, Mathematik, Technik - immer unbeliebter? Die Konkurrenz von Schulfächern um das Interesse der Jugend im Spiegel vielfältiger Untersuchungen*. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren.
- Merzyn, G. (2015). Das Unterrichtsgespräch in Biologie, Chemie und Physik. Fragend-entwickelnder Unterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU) / MNU Journal*, 68 (1), 4-8.
- Merzyn, G. (2016). Das Unterrichtsgespräch - Eigenschaften, Probleme, Mängel. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU) / MNU Journal*, 69 (1), 51-57.
- Messner, R. (2004). Leitlinien einer phasenübergreifenden Lehrerbildung. *Seminar* (4), 9-27.
- Messner, R. (2009). Forschendes Lernen aus pädagogischer Sicht. In R. Messner (Hrsg.), *Schule forscht. Ansätze und Methoden zum forschenden Lernen* (S. 15-30). Hamburg: Ed. Körper-Stiftung.
- Messner, R. (Hrsg.). (2009). *Schule forscht. Ansätze und Methoden zum forschenden Lernen*. Hamburg: Ed. Körper-Stiftung.
- Métraiiller, Y. A., Reijnen, E., Kneser, C. & Opwis, K. (2008). Scientific Problem Solving in a Virtual Laboratory: A Comparison Between Individuals and Pairs. *Swiss Journal of Psychology*, 67 (2), 71-83.
- Metzger, S. & Sommer, K. (2010). "Kochrezept" oder experimentelle Methode? Eine Standortbestimmung von Schülerexperimenten unter dem Gesichtspunkt der Erkenntnisgewinnung. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 63 (1), 4-11.
- Meyer, G. (1978). *Die Bedeutung des Experiments für den modernen Biologieunterricht. Arbeitshilfe 1.12*. Hannover: Schulbiologiezentrum (auch Hrsg.).

- Meyer, H. (2006). Merkmale guten Unterrichts. In A. Baer, E. Habicht & VdS Bildungsmedien e. V. (Hrsg.), *Von der Reform zum besseren Unterricht. Beiträge und Diskussionen zur nachhaltigen Neuordnung von Lernprozessen* (S. 23-29). Frankfurt.
- Meyer, H. (2007). *Leitfaden Unterrichtsvorbereitung. Der neue Leitfaden* (2. Aufl., komplett überarb. Neuauf.). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Meyer, H. (2008). *Was ist guter Unterricht?* (5. Aufl.). Berlin: Cornelsen-Scriptor.
- Meyer, H., Pfiffner, M. & Walter, C. (2007). Ein unterstützendes Lernklima erzeugen. Was wissen wir über den Einfluss der Lernumwelt. *Pädagogik (Weinheim)*, 59 (11), 42-47.
- Meyer, H., Pfiffner, M. & Walter, C. (2007). Variabel unterrichten. Was wissen wir über die Wirksamkeit von Methoden? *Pädagogik (Weinheim)*, 59 (10), 44-48.
- Meyer, H. (1986). Experimentelles Arbeiten im Biologieunterricht. Ergebnisse einer in Nordrhein-Westfalen durchgeführten empirischen Untersuchung. In R. Hedewig & J. Knoll (Hrsg.), *Biologieunterricht außerhalb des Schulgebäudes. Beiträge zur Tagung der Sektion Fachdidaktik im Verband Deutscher Biologen in Loccum, 30.9. - 4.10.1985* (S. 302-310). Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Meyer, H. (1990). Modelle. *Unterricht Biologie*, 14 (160), 4-10.
- Meyer-Ahrens, I., Meyer, A., Witt, C. & Wilde, M. (2014). Die Interessantheit des Kernlehrplans Biologie aus Schülersicht. Schülerorientierung durch fachliche Kontexte. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 67 (4), 234-240.
- Michalik, K. (2008). Wissenschaftsbegegnung im Elementarbereich - Naturwissenschaften in Kindertageseinrichtungen. In H. Giest & J. Wiesemann (Hrsg.), *Kind und Wissenschaft. Welches Wissenschaftsverständnis hat der Sachunterricht? ; [GDSU-Jahrestagung 2007 in Kassel]* (Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts, Bd. 18, S. 203-214). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Mietzel, G. (2007). *Pädagogische Psychologie des Lernens und Lehrens* (Lehrbuch, 8., überarb. und erw. Aufl.). Göttingen: Hogrefe.
- Mikelskis-Seifert, S. & Duit, R. (2007). Physik im Kontext. - Innovative Unterrichtsansätze für den Schulalltag. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 60 (5), 265-274.
- Mikelskis-Seifert, S. & Euler, M. (2005). Naturwissenschaftliches Arbeiten von Anfang an. Lernen durch Experimentieren und Modellieren. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 54 (4), 15-22.
- Mikelskis-Seifert, S. & Leisner, A. (2004). Systematisches und bewusstes Lernen über Modelle. In C. Hößle, D. Höttecke & E. Kircher (Hrsg.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften* (S. 130-147). Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.
- Millar, R. (2005). Contextualised science courses: Where next? In P. Nentwig & D. Waddington (Hrsg.), *Making it relevant. Context based learning of science* (S. 323-346). Münster: Waxmann.
- Minkley, N., Josek, L. B., Kärner, T. & Kirchner, W. H. (2015). Stress beim Experimentieren – welchen Einfluss hat die Sozialform? In U. Gebhard, M. Hammann & B. Knälmann (Hrsg.), *Abstractband "Bildung durch Biologieunterricht". 20. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBio und des Forums Fachdidaktik & Schulbiologie. 14.-17. September 2015. Universität Hamburg* (S. 176-177). Hamburg: Online-Veröffentlichung: <http://bildungdurchbiologie2015.de/Abstractband.pdf>. Zugriff am 26.09.2015.
- Minstrell, J. & van Zee, E. H. (Hrsg.). (2000). *Inquiring into Inquiry Learning and Teaching in Science*. Washington D. C. Zugriff am 06.08.2016. Verfügbar unter <http://www.aaas.org/sites/default/files/migrate/uploads/InquiryFM.pdf>
- MKJS = Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg (Hrsg.). (1994). *Bildungsplan für die Realschule*. Villingen-Schwenningen: Neckar-Verlag.
- MKJS = Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg (Hrsg.). (2004). *Bildungsplan für die Realschule*. Stuttgart / Ditzingen: Philipp Reclam Jun. Verfügbar unter www.bildungsstandards-bw.de
- MKJS = Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg (Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg in Zusammenarbeit mit dem Landesinstitut für Schulentwicklung, Hrsg.). (2016). *Bildungsplan 2016. Gemeinsamer Bildungsplan der Sekundarstufe I. Biologie*. Zugriff am 26.02.2017. Verfügbar unter http://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents/lsw/export-pdf/depot-pdf/ALLG/BP2016BW_ALLG_SEK1_BIO.pdf
- MKJS = Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg. (2016). *Bildungsplan 2016. Gemeinsamer Bildungsplan der Sekundarstufe I. Biologie, Naturphänomene und Technik (BNT)*, Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg in Zusammenarbeit mit dem Landesinstitut für Schulentwicklung. Zugriff am 26.02.2017. Verfügbar unter http://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents/lsw/export-pdf/depot-pdf/ALLG/BP2016BW_ALLG_SEK1_BNT.pdf
- MKJS = Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg (Hrsg.). (2016). *Bildungsplan 2016. Lehrkräftebegleitheft*. Villingen-Schwenningen: Neckar-Verlag. Zugriff am 30.04.2017. Verfügbar unter http://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents/lsw/Bildungsplaene/BP2016BW_ALLG_LBH.PDF
- MKJS = Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg. (2016). *Bildungspläne 2016. Gemeinsamer Bildungsplan für die Sekundarstufe I*. Zugriff am 29.05.2016. Verfügbar unter <http://www.bildungsplaene-bw.de/Lde/Startseite>
- Moisl, F. (1988). Experimente. *Unterricht Biologie*, 12 (132), 4-10.
- Möller, A., Bergsdorf, T., Boone, W. & Kaufmann, K. (2013). Charakteristika und Häufigkeit von Experimenten und anderen naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen im deutschen Biologieunterricht. In J. Mayer, M. Hammann, N. Wellnitz, J. Arnold & M. Werner (Hrsg.), *Theorie - Empirie - Praxis. Abstractband. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBIO, 16.09. - 20.09.2013, Universität Kassel* (S. 206-207). Kassel: kassel university press.
- Möller, A., Grube, C. & Mayer, J. (2008). *Kompetenzniveaus der Erkenntnisgewinnung bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I*. Zugriff am 15.01.2009. Verfügbar unter <http://www.biodidaktik.de/abstracts/vortraegeEssen/Moeller+Grube+Mayer.pdf>
- Möller, J. (2008). Lernmotivation. In A. Renkl (Hrsg.), *Lehrbuch Pädagogische Psychologie* (1. Aufl., S. 263-298). Bern: Huber.

- Möller, K., Jonen, A., Hardy, I. & Stern, E. (2002). Die Förderung von naturwissenschaftlichem Verständnis bei Grundschulkindern durch Strukturierung der Lernumgebung. In M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen. Zeitschrift für Pädagogik - 45. Beiheft* (S. 176-191). Einheim: Beltz.
- Moosbrugger, H. (2007). Item-Response-Theorie (IRT). In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (Springer-Lehrbuch, S. 215-259). Heidelberg: Springer.
- Moosbrugger, H. (2007). Klassische Testtheorie (KTT). In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (Springer-Lehrbuch, S. 99-112). Heidelberg: Springer.
- Moosbrugger, H. & Kelava, A. (2007). Qualitätsanforderungen an einen psychologischen Test (Testgütekriterien). In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (Springer-Lehrbuch, S. 7-26). Heidelberg: Springer.
- Morrone, M., Mancl, K. & Carr, K. (2001). Development of a metric to test group differences in ecological knowledge as one component of environmental literacy. *The Journal of Environmental Education*, 32 (4), 33-42.
- Muckenfuß, H. (2010? / o. J.) *Experimentieren und Versuche machen. Erkenntnistheoretische Aspekte der Sachbegegnung im naturwissenschaftlichen Unterricht*. Zugriff am 06.10.2010. Verfügbar unter http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/tagungen/didaktikworkshop10/01_muckenfuss_text.pdf
- Muckenfuß, H. (1995). *Lernen im sinnstiftenden Kontext. Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts*. Berlin: Cornelsen.
- Muckenfuß, H. (2010). Experimentieren und Versuche machen. Erkenntnistheoretische Aspekte der Sachbegegnung im naturwissenschaftlichen Unterricht. In H. Köster, F. Hellmich & V. Nordmeier (Hrsg.), *Handbuch Experimentieren* (S. 19-45). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren. Zugriff am 08.09.2016. Verfügbar unter http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/tagungen/didaktikworkshop10/01_muckenfuss_text.pdf
- Müller, K. (1996). Erkenntnistheorie und Lerntheorie. Geschichte ihrer Wechselwirkung vom Repräsentationalismus über den Pragmatismus zum Konstruktivismus. In K. Müller (Hrsg.), *Konstruktivismus. Lehren - Lernen - ästhetische Prozesse* (PädagogikTheorie und Praxis, S. 24-70). Neuwied: Luchterhand.
- Müller, K. (1996). Wege konstruktivistischer Lernkultur. In K. Müller (Hrsg.), *Konstruktivismus. Lehren - Lernen - ästhetische Prozesse* (PädagogikTheorie und Praxis, S. 71-115). Neuwied: Luchterhand.
- Munk, K. (Hrsg.). (2009). *Ökologie - Evolution. In der Reihe 'Taschenlehrbuch Biologie'*. Stuttgart: Thieme.
- Mutke, J. & Barthlott, W. (2008). Biodiversität und ihre Veränderungen im Rahmen des Globalen Umweltwandels: Biologische Aspekte. In DRZE - Deutsches Referenzzentrum für Ethik in den Biowissenschaften (Hrsg.), *Biodiversität* (Ethik in den Biowissenschaften - Sachstandsberichte des DRZE, Bd. 5, S. 25-74). Freiburg: Karl Alber.
- Nachtigall, C. & Wirtz, M. (2006). *Wahrscheinlichkeitsrechnung und Inferenzstatistik* (Statistische Methoden für Psychologen, / Markus Wirtz; Christof Nachtigall ; Teil 2, 4. Aufl.). Weinheim: Juventa-Verlag.
- Naguib, M. (2006). *Methoden der Verhaltensbiologie*. Berlin: Springer.
- Nawrath, D. & Komorek, M. (2013). Kontextorientierung aus Sicht von Physiklehrkräften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 235-259.
- Nawrath, D., Maiseyenko, V. & Schecker, H. (2011). Experimentelle Kompetenz. Ein Modell für die Unterrichtspraxis. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 60 (60), 42-49.
- Naylor, S., Breuer-Küppers, P., Curtis, A., Danielson, W., Prem-Vogt, C. & Skiebe-Corrette, P. (2010). Wege zur Verbesserung von Sprachfertigkeiten durch Naturwissenschaften. In Science on Stage Deutschland e. V. (Hrsg.), *Teaching Science in Europe 3. Was europäische Lehrkräfte voneinander lernen können* (S. 23-28). Berlin.
- Neber, H. (2006). Fragenstellen. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 50-58). Göttingen: Hogrefe.
- Neber, H. & Anton, M. (2008). Promoting Pre-experimental Activities in High-school Chemistry: Focusing on the role of students' epistemic questions. *International Journal of Science Education*, 30 (13), 1801-1821.
- Neber, H. & Anton, M. A. (2008). Förderung präexperimenteller epistemischer Aktivitäten im Chemieunterricht. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 22 (2), 143-150.
- Nehring, A., Nowak, K., Upmeyer zu Belzen, Annette & Tiemann, R. (2012). Doing Inquiry in Chemistry and Biology. The Context's Influence on the Students' Cognitive Load. *La Chimica nella Scuola*, XXXIV (3), 253-258.
- Nehring, A., Nowak, K. H., Upmeyer zu Belzen, Annette & Tiemann, R. (2015). Predicting Students' Skills in the Context of Scientific Inquiry with Cognitive, Motivational, and Sociodemographic Variables. *International Journal of Science Education*.
- Nehring, A., Stiller, J., Nowak, K. H., Upmeyer zu Belzen, Annette & Tiemann, R. (2016). Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen im Chemieunterricht - eine modellbasierte Videostudie zu Lerngelegenheiten für den Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22, 77-96.
- Neuhaus, B. (2007). Unterrichtsqualität als Forschungsfeld für empirische biologiedidaktische Studien. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (Springer-Lehrbuch, S. 243-254). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Neuhaus, B. (2011). Kompetenzorientiertes Experimentieren. In Stiftung Polytechnische Gesellschaft (Hrsg.), *Polytechnik-Preis für die Didaktik der Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik. Dokumentation zur Preisverleihung 2011* (S. 14-15). Frankfurt am Main.
- Neuhaus, B., Nachreiner, K., Oberbeil, I. & Spangler, M. (2014). Basiskonzepte zur Planung von Biologieunterricht. Ein Gedanken-spiel. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 67 (3), 160-165.
- Neumann, G.-H. (1979). *Forschendes Lernen im Biologieunterricht. Grundlagen und Unterrichtsbeispiele für die Sekundarstufen*. Düsseldorf: Pädagogischer Verlag Schwann.
- Neumann, K. & Stender, A. (2013). Quality of Instruction in Physics. In O. Köller, M. Euler, U. Harms, A. Heinze, I. Parchmann & T. Höfler (Hrsg.), *Research Report 2011 / 2012. IPN - Leibniz Institute for Science and Mathematics Education* (S. 58-60). Kiel / Kronshagen: Pirwitz Druck & Design.

- Neupert, Dieter W. H. (1996). Anwenden empirischer Erkenntnismethoden im Biologieunterricht. *Biologie in der Schule*, 45 (5), 257-262.
- Nevers, P. (2004). Hat ein Ökosystem eine Identität? Nachdenken über normative Aspekte eines wichtigen biologischen Begriffs. In C. Hößle, D. Höttecke & E. Kircher (Hrsg.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften* (S. 173-186). Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.
- Niebert, K. & Gropengießer, H. (2006). Wachsen Haare schneller, wenn man sie öfter schneidet? Eine Untersuchung über Vorstellungen zum Experimentieren. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 5 (1), 7-21. Zugriff am 26.05.2015. Verfügbar unter http://www.bcp.fu-berlin.de/biologie/arbeitsgruppen/didaktik/Erkenntnisweg/2006/2006_01_Niebert.pdf
- Nießeler, A. (2008). Wissenschaftsbegegnung oder Klassifizierung von Wissen? Ein wissenssoziologischer Problemaufriss zur Profilierung des Sachunterrichts. In H. Giest & J. Wiesemann (Hrsg.), *Kind und Wissenschaft. Welches Wissenschaftsverständnis hat der Sachunterricht? ; [GDSU-Jahrestagung 2007 in Kassel]* (Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts, Bd. 18, S. 51-58). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Nolin, J. (1993). Democracy and the programme of science information in Sweden. In J. Durant & J. Gregory (Hrsg.), *Science and Culture in Europe* (S. 187-193). London: (Trustees of the) Science Museum.
- Norris, S. P. & Phillips, L. M. (2003). How Literacy in Its Fundamental Sense Is Central to Scientific Literacy. *Science Education*, 87 (2), 224-240.
- Nowak, K. H., Nehring, A., Tiemann, R. & Upmeyer zu Belzen, Annette. (2013). Assessing students' abilities in processes of scientific inquiry in biology using a paper-and-pencil test. *Journal of Biological Education*, 47 (3), 182-188.
- Oerter, R. & Oerter-Montada. (1998). *Entwicklungspsychologie. Ein Lehrbuch* (4., korrigierte Aufl.). Weinheim: Beltz Psychologie-Verl.-Union.
- Ogilvie, D. M. & Stinson, R. H. (1995). *Schulbiologische Untersuchungen mit lebenden Tieren* (Naturwissenschaftliche Reihe, 1. Aufl.). Stuttgart: Klett-Schulbuchverlag.
- Orr, D. W. (1992). *Ecological literacy: Education and the transition to a postmodern world*. Albany: State University of New York Press.
- Osborne, J., Erduran, S. & Simon, S. (Hrsg.). (2004). *IDEas, Evidence & Argument in Science (IDEAS). CPD Training Pack for teacher professional development. Video based in-service training materials for training teachers to teach ideas, evidence and argument in KS3 science classrooms*. London: King's College.
- Ostersehl, D. (2013). Forschend Lernen: Low Cost. *Unterricht Biologie*, 37 (390), 2-9.
- Ostersehl, D. (2013). (Über-)Leben in Eis und Kälte. *Unterricht Biologie*, 37 (390), 10-19.
- Ostwinkel, C., Raufeisen, J. & Ortlieb, D. (2015). NaWi Lab. Die App für den forschend-entwickelnden Unterricht! *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 68 (6), 351-356.
- Otto, K.-H. (2006). Experiment. In H. Haubrich (Hrsg.), *Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie konkret* (2., erw. und vollst. überarb. Aufl., S. 128-131). München: Oldenbourg.
- Otto, K.-H. & Mönter, L. (2015). Scientific Literacy im Geographieunterricht fördern. Experimentelle Lehr-/Lernformen und Modell-experimente. *geographie heute* (322), 2-7.
- Pandel, H.-J. (2008). Kompetenzen entwickeln – Modelle und Standards für das Fach Geschichte. *Hero.dot. Das Magazin für den Geschichtsunterricht* (4 (Frühjahr/Sommer 2008)), 3-5.
- Pant, H. A. (2016). Einführung in den Bildungsplan 2016. Warum ein "neuer" Bildungsplan? Anlässe und Asichten der Bildungsplanreform. In MKJS = Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg (Hrsg.), *Bildungsplan 2016. Lehrkräftebegleitheft* (S. 4-15). Villingen-Schwenningen: Neckar-Verlag. Zugriff am 30.04.2017. Verfügbar unter http://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents/lsw/Bildungsplaene/BP2016BW_ALLG_LBH.PDF
- Pant, H. A., Stanat, P., Schroeders, U., Roppelt, A., Siegle, T. & Pöhlmann, C. (Hrsg.). (2013). *IQB-Ländervergleich 2012. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I*. Münster: Waxmann.
- Parchmann, I. (2009). Alltagsorientierung in den Naturwissenschaften. Forschendes Lernen im Chemieunterricht. In R. Messner (Hrsg.), *Schule forscht. Ansätze und Methoden zum forschenden Lernen* (S. 77-88). Hamburg: Ed. Körber-Stiftung.
- Parchmann, I. (2010). Wissenschaftsbild und Chemieunterricht. Welchen (impliziten) Beitrag Unterrichtskonzeptionen zu einem Verständnis von Naturwissenschaften leisten können. *Unterricht Chemie*, 21 (118/119), 24-27.
- Parchmann, I., Bernholt, S., Christiansen, D., Fach, M., Freienberg, J., Kandt, W. et al. (2008). Neue Strukturen im Bildungssystem - Konsequenzen von und für Chemie im Kontext? In R. Demuth, C. Gräsel, I. Parchmann & B. Ralle (Hrsg.), *Chemie im Kontext. Von der Innovation zur nachhaltigen Verbreitung eines Unterrichtskonzepts* (S. 147-179). Münster: Waxmann.
- Parchmann, I., Bertelsen, G., Demuth, R., Dierks, P.-O., Höffler, T., Lindner, M. et al. (2011). Naturwissenschaften im Kontext. Ansatzpunkte zur Vernetzung von Fachperspektiven in den Jahrgängen 5/6 und in der gymnasialen Oberstufe. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 64 (5), 260-266.
- Parchmann, I., Gräsel, C., Baer, A., Nentwig, P., Demuth, R., Ralle, B. et al. (2006). "Chemie im Kontext": A symbiotic implementation of a context-based teaching and learning approach. *International Journal of Science Education*, 28 (9), 1041-1062.
- Parchmann, I. & Kaufmann, H. (2006). Kompetenzen entwickeln. Wie Bildungsstandards zu einer Chance für Schulentwicklung werden können. *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie*, 17 (94-95), 4-9.
- Parchmann, I., Ralle, B. & Di Fuccia, D.-S. (2008). Entwicklung und Struktur der Unterrichtskonzeption Chemie im Kontext. Chemie im Kontext - ein Weg zu einem anderen Chemieunterricht? In R. Demuth, C. Gräsel, I. Parchmann & B. Ralle (Hrsg.), *Chemie im Kontext. Von der Innovation zur nachhaltigen Verbreitung eines Unterrichtskonzepts* (S. 9-47). Münster: Waxmann.
- Paul, J. & Groß, J. (2016). Nature of Science (NOS) und Forschendes Lernen beim Wettbewerb Jugend forscht. In U. Gebhard & M. Hammann (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. "Bildung durch Biologieunterricht". Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Hamburg 2015* (Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik, Bd. 7, S. 57-73). Innsbruck: Studienverlag.
- Perkins, D. N. & Unger, C. (1994). A new look in representations for mathematics and science learning. *Instructional Science*, 22, 1-37.

- Perrez, M., Huber, G. L. & Geißler, K. A. (2006). Psychologie der pädagogischen Interaktion. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (5., vollst. überarb. Aufl., S. 357-421). Weinheim: Beltz PVU.
- Peter, C. (2014). *Problemlösendes Lernen und Experimentieren in der geographiedidaktischen Forschung. Eine Interventions- und Evaluationsstudie zur naturwissenschaftlichen Kompetenzentwicklung im Geographieunterricht*. Zugriff am 28.05.2015. Verfügbar unter http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2014/10703/pdf/PeterCarina_2014_01_15.pdf
- Peter, C. (2015). Forschungssteckbrief. Geographiedidaktische Forschungsansätze - Problemlösendes Lernen und Experimentieren. *geographie heute* (322), 45-47 (und Download-Material).
- Petko, D., Waldis, M., Pauli, C. & Reusser, K. (2003). Methodologische Überlegungen zur videogestützten Forschung in der Mathematikdidaktik. Ansätze der TIMSS 1999 Video Studie und ihrer schweizerischen Erweiterung. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 35 (6), 265-280.
- Pfeifer, P. (2006). Wissen - Bildung - Kompetenzen. Die Bedeutung früherer Bildungskonzepte für die Gegenwart. *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie*, 17 (94-95), 10-13.
- Pfeifer, P. (2010). Das Experiment im Spiegel des Chemieunterrichts. Zwischen Tradition und aktueller Bedeutung. *Unterricht Chemie*, 21 (118/119), 16-19.
- Pfeifer, P., Lutz, B. & Bader, H. J. (2002). *Konkrete Fachdidaktik Chemie* (Neubearb., 3. Aufl.). München: Oldenbourg Schulbuchverlag.
- Pfeifer, P., Schaffer, S. & Sommer, K. (2011). Schülerexperimente im Unterricht. Auswahlkriterien und Beispiele. *Unterricht Chemie*, 22 (126), 2-9.
- Pfligersdorffer, G. (2013). Computer. In H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (9. Aufl., S. 395-410). Hallbergmoos: Aulis / Stark Verlagsgemeinschaft.
- Phan, T. T. H. (2007). *Testing levels of competencies in biological experimentation. Dissertationsschrift*. Kiel: Christian-Albrechts-Universität.
- Pichler, W., Haas, E., Haider, R., Pöllabauer, S., Pietsch, A., Freytag, E.-S. et al. (2007). *Chemie aus dem Koffer*, Fonds für Unterrichts- und Schulentwicklung. S5 "Entdecken, Forschen und Experimentieren". Zugriff am 14.10.2010. Verfügbar unter http://www.wilhelmichler.at/projekte/ch_a_d_k/543_WilhelmPichler_lang.pdf
- Pick, B. (1981). *Biologiedidaktik zwischen Fachwissenschaft und Allgemeiner Didaktik* (Didaktik der Naturwissenschaften, Bd. 5). Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Pilot, A. & Bulte, A. M. W. (2006). Why Do You "Need to Know". Context-based education. *International Journal of Science Education*, 28 (9), 953-956.
- Pine, J., Aschbacher, P., Roth, E., Jones, M., McPhee, C., Martin, C. et al. (2006). Fifth Graders' Science Inquiry Abilities: A Comparative Study of Students in Hands-On and Textbook Curricula. *Journal of Research in Science Teaching*, 43 (5), 467-484.
- Plasa, T. & Rincke, K. (2010). Entwicklung eines Fragebogens zur Untersuchung der Schülerwahrnehmung von Experimentierangeboten. In D. Höttercke (Hrsg.), *Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Dresden 2009* (S. 209-211). Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Pleus, A. & Upmeyer zu Belzen, Annette (2008). Einstellungen zu Sach-, Nawi- und Biologieunterricht von Schülerinnen und Schülern im Land Berlin - erste Ergebnisse einer Längsschnittstudie. In U. Harms & A. Sandmann (Hrsg.), *Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBiO, Essen 2007* (Forschungen zur Fachdidaktik, Bd. 10, S. 273-287). Innsbruck: StudienVerl.
- Pöhlmann, C., Haag, N. & Stanat, P. (2013). Zuwanderungsbezogene Disparitäten. In H. A. Pant, P. Stanat, U. Schroeders, A. Roppelt, T. Siegle & C. Pöhlmann (Hrsg.), *IQB-Ländervergleich 2012. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I* (S. 297-329). Münster: Waxmann.
- Pommerin-Götze, G., Schmitt-Sody, B. & Kometz, A. (2011). Naturwissenschaften und Sprachenlernen. Sprachförderung durch naturwissenschaftliche Experimente im Sommercamp Nürnberg. *Unterricht Chemie*, 22 (123), 34-37.
- Pötter, M., Schwabe, K. & Mühlbach, H. (2010). Selbstorganisiertes Lernen am Beispiel der Betonkorrosion. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 59 (1), 15-24.
- Prechtel, M. (2011). Protokolle als Chemie-Foto-Stories. Diagnostizieren anhand selbst gezeichneter Bildergeschichten. *Unterricht Chemie*, 22 (124/125), 48-51.
- Prenzel, M., Artelt, C., Baumert, J., Blum, W., Hammann, M., Klieme, E. et al. (Hrsg.). (2007). *PISA 2006. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie*. Münster: Waxmann.
- Prenzel, M., Artelt, C., Baumert, J., Blum, W., Hammann, M., Klieme, E. et al. (2007). *PISA 2006 in Deutschland. Die Kompetenzen der Jugendlichen im dritten Ländervergleich. Zusammenfassung*. Zugriff am 31.05.2015. Verfügbar unter http://archiv.ipn.uni-kiel.de/PISA/Zusfsg_PISA2006_national.pdf
- Prenzel, M., Baumert, J., Blum, W., Lehmann, R., Leutner, D., Neubrand, M. et al. (Hrsg.). (2005). *PISA 2003. Der zweite Vergleich der Länder in Deutschland - Was wissen und können Jugendliche?* Münster: Waxmann.
- Prenzel, M., Demuth, R., Euler, M., Harms, U., Heinze, A. & Ehmke, T. (Hrsg.). (2008). *Forschungsbericht 2007/2008. IPN - Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften*. Kiel / Kronshagen: Pirwitz Druck.
- Prenzel, M., Rost, J., Senkbeil, M., Häußler, P. & Klopp, A. (2001). Naturwissenschaftliche Grundbildung: Testkonzeption und Ergebnisse. In J. Baumert, E. Klieme, M. Neubrand, M. Prenzel, U. Schiefele, W. Schneider et al. (Hrsg.), *PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich* (S. 191-248). Opladen: Leske + Budrich.
- Priemer, B. (2011). Was ist das Offene beim offenen Experimentieren? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 17, 315-337.
- Putzh, V. (1988). Experiment der Beobachtung? Überlegungen zur Erkenntnisgewinnung in d. Biologie. *Unterricht Biologie*, 12 (132), 11-13.
- Quenzel, G. & Hurrelmann, K. (2009). *Warum sind Jungen in der Schule weniger erfolgreich als Mädchen?*, Universität Innsbruck. ILS Mail: 1/2009. Zugriff am 29.08.2016. Verfügbar unter https://www.uibk.ac.at/ils/ilsmail/pdf_ils_mail/ilsmail_01_2009.pdf

- Ralle, B. (2007). Die Furcht vor dem Kontext. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 60 (4), 259.
- Ramseger, J. (2009). Experimente, Experimente! Was lernen Kinder im naturwissenschaftlichen Unterricht? *Gemeinsam Schule machen - Die Grundschulzeitschrift*, 23 (225/226 (Juli 2009)), 14-20.
- Randler, C., Ekler, S., Tempel, B. J. & Rehm, M. (2015). Missachtete Aspekte der Experimentierkompetenz. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 68 (5), 260-264.
- Rathmann, J. (2008). Kausalität in der Systemtheorie: Ein Problemaufriss. In H. Egner, B. M. W. Ratter & R. Dikau (Hrsg.), *Umwelt als System - System als Umwelt? Systemtheorien auf dem Prüfstand* (S. 55-71). München: Oekom.
- Ratter, B. M. W. & Treiling, T. (2008). Komplexität - oder was bedeuten die Pfeile zwischen den Kästchen? In H. Egner, B. M. W. Ratter & R. Dikau (Hrsg.), *Umwelt als System - System als Umwelt? Systemtheorien auf dem Prüfstand* (S. 23-38). München: Oekom.
- Regge, T. (1993). Science, Europe and democracy. In J. Durant & J. Gregory (Hrsg.), *Science and Culture in Europe* (S. 125-127). London: (Trustees of the) Science Museum.
- Rehm, M. & Bölsterli, K. (2014). Entwicklung von Unterrichtsvignetten. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 213-225). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Rehm, M. & Stäudel, L. (2010). Nature of Science. Erwartungen und Ansätze. *Unterricht Chemie*, 21 (118/119), 14-15.
- Reiff, R. (2008). Selbst- und Partnerkontrolle. Ein effizientes Verfahren zur produktbezogenen Diagnostik. *Mathematik lehren* (150), 47-51.
- Reinfried, S. (2006). Direkte Instruktion und entdeckendes Lernen. In H. Haubrich (Hrsg.), *Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie konkret* (2., erw. und vollst. überarb. Aufl., S. 120-125). München: Oldenbourg.
- Reinmann, G. (2005). Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung. *Unterrichtswissenschaft - Zeitschrift für Lernforschung*, 33 (1), 52-69.
- Reinmann, G. & Mandl, H. (2006). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (5., vollst. überarb. Aufl., S. 613-658). Weinheim: Beltz PVU.
- Reiss, C., Sälzer, C., Schiepe-Tiska, A., Klieme, E. & Köller, O. (2016). *PISA 2016 - Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation. Zusammenfassung*. Zugriff am 06.12.2016. Verfügbar unter http://www.pisa.tum.de/fileadmin/w00bgi/www/Berichtband_und_Zusammenfassung_2012/PISA_2015_Zusammenfassung_final.pdf
- Reiss, K. & Ufer, S. (2010). Fachdidaktische Forschung im Rahmen der Bildungsforschung. Eine Diskussion wesentlicher Aspekte am Beispiel der Mathematikdidaktik. In R. Tippelt & B. Schmidt (Hrsg.), *Handbuch Bildungsforschung* (3. Aufl., S. 199-213). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften | Springer Fachmedien.
- Reisse, W. (2008). *Kompetenzorientierte Aufgabenentwicklung. Ein Lehrerhandbuch für die Sekundarstufen*. Köln: Aulis-Verlag Deubner.
- Reitinger, J. (2013). *Forschendes Lernen. Theorie, Evaluation und Praxis in naturwissenschaftlichen Lernarrangements* (Theorie und Praxis der Schulpädagogik, Bd. 12). Immenhausen bei Kassel: Prolog.
- Rempfler, A. & Uphues, R. (2011). Für ein adäquates Verständnis von Geosystemen. *Geographie und Schule*, 33 (189), 4-10.
- Rempfler, A. & Uphues, R. (2011). Systemkompetenz und ihre Förderung im Geographieunterricht. *Geographie und Schule*, 33 (189), 22-33.
- Renkl, A. (Hrsg.). (2008). *Lehrbuch Pädagogische Psychologie*. Bern: Huber.
- Renkl, A. (2010). Lehren und Lernen. In R. Tippelt & B. Schmidt (Hrsg.), *Handbuch Bildungsforschung* (3. Aufl., S. 737-751). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften | Springer Fachmedien.
- Renkl, A. (2014). Lernaufgaben zum Erwerb prinzipienbasierter Fertigkeiten: Lernende nicht nur aktivieren, sondern aufs Wesentliche fokussieren. In B. Ralle, S. Prediger, M. Hammann & M. Rothgangel (Hrsg.), *Lernaufgaben entwickeln, bearbeiten und überprüfen. Ergebnisse und Perspektiven fachdidaktischer Forschung* (Fachdidaktische Forschungen, Bd. 6, S. 12-22). Münster, New York: Waxmann.
- Renn, O. (2006). Ökologische Orientierung - Anmerkungen zu den Aufgaben der Kirchen. In K. Barwig & D. Schmid (Hrsg.), *Nachhaltigkeit - Strategien in den Kirchen. Ein Beitrag zur UN-Dekade "Bildung für nachhaltige Entwicklung"* (Hohenheimer Protokolle, Bd. 63, S. 37-70). Stuttgart: Akademie der Diözese Rottenburg-Stuttgart.
- Rettberg, W. (2014). Lichtverschmutzung, Samenfraß und Sensorstation. Citizen Science bringt echte Forschung an die Schule. *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule*, 63 (8), 4-9.
- Reuschenbach, M. & Schockemöhle, J. (2011). Bildung für nachhaltige Entwicklung. Leitbilder für den Geographieunterricht. *geographie heute* (295), 2-10.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Burns, B. D. (2001). *FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. (Langversion, 2001). S. 1 - 17 (Nr. 47). Diagnostica* (S. 57-66).
- Rhode-Jüchtern, T. (2009). *Eckpunkte einer modernen Geographiedidaktik. Hintergrundbegriffe und Denkfiguren*. Seelze-Velber: Friedrich / Kallmeyer in Verbindung mit Klett.
- Richter, D., Kuhl, P., Haag, N. & Pant, H. A. (2013). Aspekte der Aus- und Fortbildung von Mathematik- und Naturwissenschaftslehrkräften im Ländervergleich. In H. A. Pant, P. Stanat, U. Schroeders, A. Roppelt, T. Siegle & C. Pöhlmann (Hrsg.), *IQB-Ländervergleich 2012. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I* (S. 367-390). Münster: Waxmann.
- Ricker, K.-M. (2013). Methodentraining für Juniorforscher. [Beigabe im Materialheft, für das auch die Seitenzahlen gelten]. *Biologie [im naturwissenschaftlichen Unterricht] 5 bis 10* (2), 13-17.
- Ricker, K.-M. (2013). Was brauchen Samen zum Keimen? Ein Methodentraining für Juniorforscher. *Biologie [im naturwissenschaftlichen Unterricht] 5 bis 10* (2), 10-11.
- Rieck, K. & Stadler, M. (2008). Wissenschaftsverständnis in der Schule - Wie kann man es sinnvoll anbahnen und aufbauen? In H. Giest & J. Wiesemann (Hrsg.), *Kind und Wissenschaft. Welches Wissenschaftsverständnis hat der Sachunterricht? ; [GDSU-Jahrestagung 2007 in Kassel]* (Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts, Bd. 18, S. 215-227). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

- Riemeier, T. (2005). Kleine Erbse ganz groß! Binnendifferenzierung mithilfe unterschiedlicher Experimentieranleitungen. *lernchancen* (47), 18-25.
- Rieß, W. (2006). Lehr-Lern-Forschung im Rahmen der Bildung für eine nachhaltige Entwicklung (BNE). In W. Rieß & H. Apel (Hrsg.), *Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Aktuelle Forschungsfelder und -ansätze* (Ökologie und Erziehungswissenschaft der Kommission Bildung für eine nachhaltige Entwicklung der DGfE, S. 17-31). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Rieß, W. (2010). *Bildung für nachhaltige Entwicklung. Theoretische Analysen und empirische Studien* (Internationale Hochschulschriften, Bd. 542). Päd. Hochsch., Habilitation-Schrift–Schwäbisch Gmünd, 2009. Münster: Waxmann.
- Rieß, W. (2010). Einleitung. In Umweltministerium Baden-Württemberg & J. u. S. B.-W. Ministerium für Kultus (Hrsg.), *Umwelterziehung und Nachhaltigkeit | Grundschule. Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung im Klassenzimmer - ein Unterrichtskonzept am Beispiel Energie* (S. 4-22). Renningen: Druckerei Pfitzer.
- Rieß, W. (2012). Ein (fachdidaktisches) Rahmenmodell zum Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 153-164). Münster: Waxmann.
- Rieß, W. & Mischo, C. (2008). Entwicklung und erste Validierung eines Fragebogens zur Erfassung des systemischen Denkens in nachhaltigkeitsrelevanten Kontexten. In I. Bormann & G. Haan (Hrsg.), *Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde* (S. 215-232). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften | GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Riess, W. & Mischo, C. (2008). Wirkungen variierten Unterrichts auf systemisches Denken. In U. Frischknecht-Tobler, U. Nagel & H. Seybold (Hrsg.), *Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen* (S. 135-147). Zürich: Verlag Pestalozzianum an der Pädagogischen Hochschule Zürich.
- Riess, W. & Mischo, C. (2009 online / 2010 gedruckt). Promoting Systems Thinking through Biology Lessons. *International Journal of Science Education*, 32 (6), 1–21 / 705-725.
- Rieß, W. & Mischo, C. (2017). Das Modell problemorientierten Lehrens und Lernens (MopoLL) – Auf dem Weg zu einem evidenzbasierten Unterrichtsverfahren zur Förderung komplexer dynamischer Problemlösefähigkeiten in der Biologie. *Biologie Lehren und Lernen – Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)*, 21, 1-21.
- Rieß, W. & Robin, N. (2012). Befunde aus der empirischen Forschung zum Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 129-152). Münster: Waxmann.
- Rieß, W., Wirtz, M., Schulz, A. & Barzel, B. (2012). Integration der theoretischen und empirischen Befunde zum Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 353-364). Münster: Waxmann.
- Rincke, K. & Wodzinski, R. (2010). Schülerexperimente: Wege und Wirkungen von Unterstützungsmaßnahmen. In D. Höttecke (Hrsg.), *Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Dresden 2009* (S. 242-244). Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Rincke, K., Wodzinski, R., Hänze, M. & Schmidt-Weigand, F. (2011). Videoinstruktionen als Element experimenteller Arbeit in Kleingruppen. In D. Höttecke (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Potsdam 2010* (S. 378-380). Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Rinschede, G. (2003). *Geographiedidaktik* (UTB Geographie, Pädagogik, Bd. 2324). Paderborn: Schöningh.
- Roberts, R. & Gott, R. (2003). Assessment of biology investigations. *Journal of Biological Education*, 37 (3), 114-121.
- Robin, N. (2012). Elemente aus der Geschichte der experimentellen Praxis in den Naturwissenschaften (17. - 19. Jahrhundert). In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 89-101). Münster: Waxmann.
- Roediger III, Henry L. & Marsh, E. J. (2005). The Positive and Negative Consequences of Multiple-Choice Testing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 31 (5), 1155-1159.
- Roesch, F., Nerb, J. & Riess, W. (2015). Promoting Experimental Problem-solving Ability in Sixth-grade Students Through Problem-oriented Teaching of Ecology: Findings of an intervention study in a complex domain. *International Journal of Science Education*, 37 (4), 577-598.
- Roesler, M., Wellnitz, N. & Mayer, J. (2016). Die Rolle affektiver Variablen bei der Bearbeitung kontextualisierter Testaufgaben. In U. Gebhard & M. Hammann (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. "Bildung durch Biologieunterricht". Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Hamburg 2015* (Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik, Bd. 7, S. 265-281). Innsbruck: Studienverlag.
- Rösch, F. (2008). *Experimentelle Kompetenz im Kontext ökologischer Bildung. Förderung und Messung*. Unveröffentlichte Wissenschaftliche Examensarbeit im Rahmen der Prüfung im Promotionsaufbaustudiengang. Sachsenheim / Pädagogische Hochschule Freiburg.
- Rösch, F. (2009). *Subjektives Erleben von Experimentieren im Naturwissenschaftsunterricht der 6. Klassenstufe. Dokumentation einer qualitativen Untersuchung*. Unveröffentlichte schriftliche Hausarbeit im Rahmen des Seminars „Einführung in qualitative Forschungs- und Datenanalysemethoden“. Freiburg: Pädagogische Hochschule Freiburg.
- Rösch, F. (2010). *Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung. Handreichung für das Mitarbeiter-Team am Naturschutzzentrum „Ruhestein“* (2. Aufl.). Unveröffentlichte Projektunterlage. Freiburg.
- Rösch, F. (2010). *Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung. Handreichung für die beteiligten Lehrkräfte* (2. Aufl.). Unveröffentlichte Projektunterlage. Freiburg.
- Rösch, F. (2012). „Forschen wir heute wieder?!“. Ein Unterrichtsvorschlag für die Klassenstufen 3 und 4 zur Förderung des Wissenschaftsverständnisses anhand von Experimenten. *Sache - Wort - Zahl*, 40 (H. 124), 12-26.
- Rösch, F. (2013). Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit!? Welche Rolle spielen aktuelle Schulbücher und Lehrerhandreichungen? *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 66 (5), 299-305.

- Rösch, F. (2015). Externe Validität ökologischer Experimente einschätzen können. Befunde und Überlegungen zur Messung und Förderung. *Biologie Lehren und Lernen - Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)*, 19 (1), 1-25. Zugriff am 23.12.2015. Verfügbar unter <http://doi.org/10.2390/zdb-v19-i1-315>; <http://zdb.uni-bielefeld.de/index.php/zdb/article/view/315>
- Rösch, F., Rieß, W. & Nerb, J. (2012). Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ im problemorientierten Ökologieunterricht der 6. Klassenstufe? In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 183-198). Münster: Waxmann.
- Rost, D. H. (2007). *Interpretation und Bewertung pädagogisch-psychologischer Studien. Eine Einführung* (UTB Erziehungswissenschaft, Psychologie, Soziologie, Bd. 8306, 2., überarb. und erw. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Rost, J., Lauströer, A. & Raack, N. (2003). Kompetenzmodelle einer Bildung für Nachhaltigkeit. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 52 (8), 10-15.
- Roth, G. (2009). Die Bedeutung von Motivation und Emotionen für den Lernerfolg. In R. Messner (Hrsg.), *Schule forscht. Ansätze und Methoden zum forschenden Lernen* (S. 57-74). Hamburg: Ed. Körber-Stiftung.
- Roth, G. (2017). Neurokognitive Tipps für die Schule. Was das Gehirn zum Lernen braucht. *Biologie in unserer Zeit*, 47 (5), 326-331.
- Ruberti, A. (1993). Science in European culture. In J. Durant & J. Gregory (Hrsg.), *Science and Culture in Europe* (S. 13-16). London: (Trustees of the) Science Museum.
- Ruf, J. (2017, 2. Juni). Bildung: Lernen im virtuellen Klassenzimmer. *Ludwigsburger Kreiszeitung*, S. 4.
- Rumann, S. (2004/2005). *Kooperatives Experimentieren im Chemieunterricht. Entwicklung und Evaluation einer Interventionsstudie zur Säure-Base-Thematik*. Berlin: Logos. Zugriff am 04.10.2011. Verfügbar unter <http://www.dickhaeuser.de/materialien/rumann.pdf>
- Ruppert, W. (2012). Welches Interesse haben Schüler an biologischen Themen? In U. Spörhase (Hrsg.), *Biologie Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (5. Aufl., S. 94-111). Berlin: Cornelsen.
- Russek, A., Kakoschke, A. & Sommer, K. (2010). Was bleibt? Untersuchungen über Einstellungen und Werthaltungen zum Chemieunterricht bei Eltern. *Unterricht Chemie*, 21 (118/119), 94-97.
- Sadava, D., Hillis, D. M., Heller, H. C. & Berenbaum, M. R. (2011). *Purves Biologie* (9. Aufl.). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Sadler, T. D. (2004). Informal Reasoning Regarding Socioscientific Issues: A Critical Review of Research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41 (5), 513-536.
- Sadler, T. D. (2011). Socio-scientific Issues as Contexts for Learning and Practice in Science Education. In D. Höttercke (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Potsdam 2010* (S. 6-16). Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Sandmann, A. (2014). Lautes Denken - die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 179-188). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Sapper, N. & Widhalm, H. (2001). *Einfache biologische Experimente. Ein Handbuch - nicht nur für Biologen* (1. Aufl., Nachdr.). Wien: Klett; öbv und hpt.
- Satow, L. & Schwarzer, R. (2003). Entwicklung schulischer und sozialer Selbstwirksamkeitserwartung. Eine Analyse individueller Wachstumskurven. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 50, 168-181.
- Sauerborn, P. (2011). Zaubern mit Experimenten. Zaubertricks mit naturwissenschaftlichem Hintergrund. *Sache - Wort - Zahl*, 39 (115), 30-40.
- Sauerborn, P. & Brühne, T. (2010). *Didaktik des außerschulischen Lernens* (3. Aufl.). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Sauerborn, P. & Brühne, T. (2012). *Didaktik des außerschulischen Lernens* (4. Aufl.). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Sauermost, R. & Freudig, D. (Hrsg.). (2000). *Lexikon der Biologie. Bd. 5* (5 Bände). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Schaake, S. (2010). Metawissen über Naturwissenschaften. Was Schüler an Beispielen aus Geschichte, Kultur und Gesellschaft über die Naturwissenschaften lernen können. *Unterricht Chemie*, 21 (118/119), 56-66.
- Schaal, S. (2012). Die Arbeit mit Medien planen. In H. Weitzel & S. Schaal (Hrsg.), *Biologie unterrichten: planen, durchführen, reflektieren* (S. 118-131). Berlin: Cornelsen.
- Schacht, R. (2008, 30. März). Wie man aus Fehlern lernt. *Welt am Sonntag*.
- Schaefer, G. (2002). Scientific Literacy im Dienste der Entwicklung allgemeiner Kompetenzen - "Fachübergreifende Fächer" im Schulunterricht. In W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa & R. Evans (Hrsg.), *Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung* (S. 83-104). Opladen: Leske + Budrich.
- Schaffer, S. & Pfeifer, P. (2011). Ziele von Schülerexperimenten. Von einer Ist-Standsanalyse zur Unterrichtsentwicklung. *Unterricht Chemie*, 22 (126), 10-13.
- Schanze, S. (2009). Kochen und naturwissenschaftliches Arbeiten. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 58 (6), 18-20.
- Schanze, S. & Saballus, U. (2011). Die Einbindung von Realexperimenten in web-basierte Lernumgebungen. In D. Höttercke (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Potsdam 2010* (S. 522-524). Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Scharfenberg, F.-J., Bogner, F. X. & Klautke, S. (2008). Instruktionsbedingte Änderungen der kognitiven Belastung im Lernort Labor: Auswirkungen auf den Wissenserwerb und das Handeln beim Experimentieren. In U. Harms & A. Sandmann (Hrsg.), *Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBiO, Essen 2007* (Forschungen zur Fachdidaktik, Bd. 10, S. 195-198). Innsbruck: StudienVerlag.
- Schaub, H. & Zenke, K. G. (1995). *Wörterbuch zur Pädagogik* (Dtv-Taschenbücher, Bd. 3357). Orig.-Ausg.: München: Deutscher Taschenbuch-Verlag.

- Schauble, L., Klopfer, L. E. & Raghavan, K. (1991). Students' Transition from an Engineering Model to a Science Model of Experimentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (9), 859-882.
- Schauble, L. (1996). The Development of Scientific Reasoning in Knowledge-Rich Contexts. *Development Psychology*, 32 (1), 102-119.
- Schauble, L., Glaser, R., Raghavan, K. & Reiner, M. (1992). The Integration of Knowledge and Experimentation Strategies in Understanding a Physical System. *Applied Cognitive Psychology*, 6, 321-343.
- Schecker, H., Neumann, K., Theyßen, H., Eickhorst, B. & Dickmann, M. (2016). Stufen experimenteller Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22, 197-213.
- Schecker, H. & Parchmann, I. (2006). Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 45-66; 804 KB. Zugriff am 27.10.2016. Verfügbar unter http://www.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/003_12.pdf
- Schecker, H., Parchmann, I. & Krüger, D. (2014). Formate und Methoden naturwissenschaftsdidaktischer Forschung. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 1-15). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Scheiber, E. (2008). *Chemie lernen durch eigenständiges Experimentieren. Chemische Experimente selbst planen*, Fonds für Unterrichts- und Schulentwicklung. S5 "Entdecken, Forschen und Experimentieren". Zugriff am 14.10.2010. Verfügbar unter http://imst.uni-klu.ac.at/imst-wiki/images/8/88/1041_langfassung_scheiber.pdf
- Scherer, R. & Tiemann, R. (2011). Diagnose von Kompetenzentwicklungen beim komplexen Problemlösen. In D. Höttecke (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Potsdam 2010* (S. 363-365). Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Schermelleh-Engel, K. & Schweizer, K. (2007). Multitrait-Multimethod-Analysen. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (Springer-Lehrbuch, S. 325-341). Heidelberg: Springer.
- Scheuer, R., Kleffken, B. & Ahlborn-Gockel, S. (2010). Experimentieren als neuer Weg der Sprachförderung. Verknüpfung naturwissenschaftlicher und sprachlicher Bildung. In D. Höttecke (Hrsg.), *Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Dresden 2009* (S. 248-250). Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Scheuer, R., Kleffken, B. & Ahlborn-Gockel, S. (2010). Experimentieren als neuer Weg zur Sprachförderung. In H. Köster, F. Hellmich & V. Nordmeier (Hrsg.), *Handbuch Experimentieren* (S. 91-114). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Schlag, B. (2008). *Naturwissenschaftliche Forscherecken im Kindergarten einrichten und nutzen* (Frühe KindheitMathematik, Naturwissenschaft & Technik, 1. Aufl.). Berlin: Cornelsen-Scriptor.
- Schleiff, E. (2016). Interdisziplinarität als Herausforderung und Chance. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU) / MNU Journal*, 69 (4), 219.
- Schlieker, V. (2012). Ein "NAVI" für den Biologieunterricht. In D. Krüger (Hrsg.), *Biologie erfolgreich unterrichten. Empfehlungen für (junge) Lehrkräfte* (S. 42-52). Hallbergmoos: Aulis / Stark Verlagsgemeinschaft.
- Schließmann, F. & Schenzer, M. (2005). Informelles Lernen an Chemie-Experimentierstationen im Science Center. In A. Pitton (Hrsg.), *Relevanz fachdidaktischer Forschungsergebnisse für die Lehrerbildung. [Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 25 ; (31.) Jahrestagung der GDGP in Heidelberg 2004]* (S. 178-180). Münster: LIT-Verlag.
- Schlüter, K. (2007). Vom Motiv zur Handlung – Ein Handlungsmodell für den Umweltbereich. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiepädagogischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (Springer-Lehrbuch, S. 57-67). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Schmidt, S. & Bogner, F. X. (2015). Strukturierter Inquiry-Unterricht führt zu langfristigem Wissenserwerb. In U. Gebhard, M. Hammann & B. Knälmann (Hrsg.), *Abstractband "Bildung durch Biologieunterricht". 20. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBio und des Forums Fachdidaktik & Schulbiologie. 14.-17. September 2015. Universität Hamburg* (S. 107-108). Hamburg: Online-Veröffentlichung: <http://bildungdurchbiologie2015.de/Abstractband.pdf>. Zugriff am 29.09.2015.
- Schmidkunz, H. (2005). Das vortragend-darstellende Unterrichtsverfahren. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 54 (8), 18-22.
- Schmidkunz, H. (2006). Experimentieren bewerten. Ein Kompetenzprofil für experimentelles Arbeiten. *Unterricht Chemie*, 17 (94/95), 91-93.
- Schmidkunz, H. (2010). Das Experiment im Lehrervortrag. *Unterricht Chemie*, 21 (117), 12-14.
- Schmidkunz, H. (2011). Versuche richtig aufbauen. Schülerzeichnungen als Diagnoseinstrument. *Unterricht Chemie*, 22 (124/125), 43-47.
- Schmidkunz, H. & Lindemann, H. (2003). *Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren. Problemlösen im naturwissenschaftlichen Unterricht* (Didaktik, Naturwissenschaften, Bd. 2, 6., unveränd. Aufl., Nachdr. der 3. Aufl. von 1992.). Hohenwarsleben: Westarp-Wiss.
- Schmidt, C. (2014). Entscheidungen im Alltag. Stoffgeschichten und Kritikalitätsbewertungen. In M. M. Müller, I. Hemmer & M. Trappe (Hrsg.), *Nachhaltigkeit neu denken. Rio+X: Impulse für Bildung und Wissenschaft* (S. 167-172). München: Oekom.
- Schmidt, D. & Möller, A. (2013). Diagnostizieren experimenteller Kompetenzen von Schülern bei der Durchführung bioogischer Experimente. In J. Mayer, M. Hammann, N. Wellnitz, J. Arnold & M. Werner (Hrsg.), *Theorie - Empirie - Praxis. Abstractband. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBio, 16.09. - 20.09.2013, Universität Kassel* (S. 204-205). Kassel: kassel university press.
- Schmidt, D. & Möller, A. (2015). Auswirkungen von Real- sowie „paper-and-pencil“- Experimenten im Biologieunterricht auf die theoretische und praktische Experimentierkompetenz sowie die intrinsische Motivation bei Schülern. In U. Gebhard, M. Hammann & B. Knälmann (Hrsg.), *Abstractband "Bildung durch Biologieunterricht". 20. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBio und des Forums Fachdidaktik & Schulbiologie. 14.-17. September 2015. Universität Hamburg* (S. 109-110). Hamburg: Online-Veröffentlichung: <http://bildungdurchbiologie2015.de/Abstractband.pdf>. Zugriff am 28.09.2015.

- Schmidt-Weigand, F., Hänze, M., Stäudel, L. & Wodzinski, R. (2006). Gestufte Lernhilfen: Effekte beim selbstständigen Bearbeiten komplexer Aufgaben. In V. Nordmeier & A. Oberländer (Hrsg.), *Didaktik der Physik - Kassel 2006. CD zur Frühjahrstagung des Fachverbandes Didaktik der Physik in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*. Berlin: Lehmanns Media - LOB.de.
- Schmidt-Weigand, F., Hänze, M. & Wodzinski, R. (2009). Complex Problem Solving and Worked Examples. The Role of Prompting Strategic Behavior and Fading-in Solution Steps. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23 (2), 129-138.
- Schmiemann, P., Linsner, M., Wenning, S., Neuhaus, B. & Sandmann, A. (2011). Kontextorientiertes Lernen in Biologie - Aufgaben und Arbeitsmaterialien. Einführung. In P. Schmiemann & A. Sandmann (Hrsg.), *Aufgaben im Kontext: Biologie. Konzepte, Ideen und Materialien für einen modernen Biologieunterricht* (S. 4-12). Seelze: Friedrich.
- Schmiemann, P. & Lücken, M. (2014). Validität - Misst mein Test, was er soll? In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 107-118). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schmiemann, P. & Mayer, J. (Hrsg.). (2013). *Experimentieren Sie! Biologieunterricht mit Aha-Effekt – Selbstständiges, kompetenzorientiertes Erarbeiten von Lehrplaninhalten*. Berlin: Cornelsen.
- Schneider, I., Hruby, A. & Pentzien, S. (2008). *Experimente für kleine Forscher. Komplettete Unterrichtseinheiten für den naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht*. Donauwörth: Auer.
- Schneider, W., Bullock, M. & Sodian, B. (1998). Die Entwicklung des Denkens und der Intelligenzunterschiede zwischen Kindern. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Entwicklung im Kindesalter* (S. 53-74). Weinheim: Beltz Psychologie-Verl.-Union.
- Schockemöhle, J. (2013). Der Bauernhof als außerschulischer Lernort in der Region. In D. Haubenhof & I. A. Strunz (Hrsg.), *Raus aufs Land. Landwirtschaftliche Betriebe als zeitgemäße Erfahrungs- und Lernorte für Kinder und Jugendliche* (S. 65-89). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Schoultz, J., Säljö, R. & Wyndhamn, J. (2001). Conceptual knowledge in talk and text: What does it take to understand a science question? *Instructional Science*, 29, 213-236.
- Schrader, F.-W., Helmke, A. & Hosenfeld, I. (2008). Stichwort: Kompetenzentwicklung im Grundschulalter. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 11 (1), 7-29.
- Schreiber, N. (2012). *Diagnostik experimenteller Kompetenz. Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells*. Berlin: Logos.
- Schreiber, N., Theyßen, H. & Schecker, H. (2009). Experimentelle Kompetenz messen?! *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 8 (3), 92-101. Zugriff am 14.05.2016. Verfügbar unter <http://www.phydid.de/index.php/phydid/article/view/93>
- Schreiber, N., Theyßen, H. & Schecker, H. (2010). Vom Versuch experimentelle Kompetenz zu messen... In D. Höttecke (Hrsg.), *Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Dresden 2009* (S. 203-205). Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Schreiber, N., Theyßen, H. & Schecker, H. (2011). Diagnostik experimenteller Kompetenzen: Ergebnisse von Pilotstudien. In D. Höttecke (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Potsdam 2010* (S. 244-246). Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Schreiber, S. (2005). Warum es Eisbären, aber keine Eismäuse gibt. *Unterricht Biologie* (307/308), 28-31.
- Schrempf, I. & Sodian, B. (1999). Wissenschaftliches Denken im Grundschulalter. Die Fähigkeit zur Hypothesenprüfung und Evidenzevaluation im Kontext der Attribution von Leistungsergebnissen. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und pädagogische Psychologie*, 31 (267 - 77).
- Schrenk, M. (2012). Naturwissenschaftliche Erkenntnismethoden in der Grundschule. *Sache - Wort - Zahl*, 40 (124), 4-8.
- Schroeders, U., Hecht, M., Heitmann, P., Jansen, M., Kampa, N., Klebba, N. et al. (2013). Der Ländervergleich in den naturwissenschaftlichen Fächern. In H. A. Pant, P. Stanat, U. Schroeders, A. Roppelt, T. Siegle & C. Pöhlmann (Hrsg.), *IQB-Ländervergleich 2012. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I* (S. 141-158). Münster: Waxmann.
- Schroeders, U., Penk, C., Jansen, M. & Pant, H. A. (2013). Geschlechtsbezogene Disparitäten. In H. A. Pant, P. Stanat, U. Schroeders, A. Roppelt, T. Siegle & C. Pöhlmann (Hrsg.), *IQB-Ländervergleich 2012. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I* (S. 249-274). Münster: Waxmann.
- Schroedter, S. & Körner, H.-D. (2015). Experimentelle Daten und Lernprozesse. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 68 (5), 300-307.
- Schuler, S. (Hrsg.). (2016). *Diercke - Mehr Denken lernen mit Geographie. Methoden 2*. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage: Westermann.
- Schultz-Siatkowski, A. & Elster, D. (2012). Experimentieren als biologisch-mathematisches Problemlösen - ein Modellierungsprozess. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 71-86. Zugriff am 25.07.2013. Verfügbar unter <http://www.bcp.fu-berlin.de/biologie/arbeitsgruppen/didaktik/Erkenntnisweg/2012/Schultz.pdf?1362740379>
- Schulz, A., Prinz, E. & Wirtz, M. (2012). Schüler planen Experimente und testen Hypothesen - Diagnose von Experimentierkompetenzen und mehrbenenanalytischer Klassenstufen- und Schulartenvergleich - Teilprojekt 11. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 333-352). Münster: Waxmann.
- Schulz, A., Wirtz, M. & Starauschek, E. (2012). Das Experiment in den Naturwissenschaften. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 15-38). Münster: Waxmann.
- Schulze, S. (2016, 28. Februar). Fit fürs Leben. *Sonntag Aktuell*, S. 9.
- Schulze Heuling, L., Mikelskis-Seifert, S. & Nückles, M. (2015). Nature of Science aus Lehrerperspektive. Untersuchungen zum Wissenschaftsverständnis von Physiklehrkräften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21, 41-53.
- Schwab, S. (2014). *Die Vermittlung von Naturschutz an Jugendliche im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung*. Dissertation an der Universität Freiburg. Diss2014-02-05_Druckversion_nachBenotung_2 (am 04.04.2017 persönlich zugesandte Datei). Freiburg i. Br.
- Schwartz, A. T. (2006). Contextualized Chemistry Education: The American experience. *International Journal of Science Education*, 28 (9), 977-998.

- Schwartz, R. S. & Crawford, B. A. (2006). Authentic Scientific Inquiry as Context for Teaching Nature of Science. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Hrsg.), *Scientific Inquiry and Nature of Science. Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education* (S. 331-355). Dordrecht (Niederlande): Springer.
- Schweder, S. (2012). Forschendes Lernen strukturiert planen und durchführen. Die Potentiale eines Forschungsplans als Unterstützungsinstrument. *Pädagogik* (7-9), 70-74.
- Schwedt, G. (2003). *Chemische Experimente in naturwissenschaftlich-technischen Museen. Farbige Feuer und feurige Farben* (Chemie macht Spaß!). Weinheim: Wiley-VCH.
- Schwichow, M., Christoph, S., Boone, W. J. & Härtig, H. (2016). The impact of sub-skills and item content on students' skills with regard to the control-of-variables strategy. *International Journal of Science Education*, 38 (2), 216-237.
- Schwichow, M., Christoph, S. & Härtig, H. (2015). Förderung der Variablen-Kontroll-Strategie im Physikunterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU) / MNU Journal*, 68 (6), 346-350.
- Schwippert, K. & Schnabel, K. U. (2000). Mathematisch-naturwissenschaftliche Grundbildung ausländischer Schulausbildungsabsolventen. In J. Baumert, W. Bos & R. Lehmann (Hrsg.), *TIMSS/III. Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie - Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Band 1: Mathematische und naturwissenschaftliche Grundbildung am Ende der Pflichtschulzeit* (Bd. 1, S. 282-300). Opladen: Leske + Budrich.
- Science on Stage Deutschland e. V. (Hrsg.). (2010). *Teaching Science in Europe 3. Was europäische Lehrkräfte voneinander lernen können*. Berlin.
- Sedlmeier, P. & Renkewitz, F. (2008). *Forschungsmethoden und Statistik in der Psychologie* (PSPPsychologie). München: Pearson Studium.
- Seidel, T., Prenzel, M., Wittwer, J. & Schwindt, K. (2007). Unterricht in den Naturwissenschaften. In M. Prenzel, C. Artelt, J. Baumert, W. Blum, M. Hammann, E. Klieme et al. (Hrsg.), *PISA 2006. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie* (S. 147-179). Münster: Waxmann.
- Seybold, H., Frischknecht-Tobler, U. & Nagel, U. (2008). Systemisches Denken - Aufgaben für Forschung und Schulpraxis. In U. Frischknecht-Tobler, U. Nagel & H. Seybold (Hrsg.), *Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen* (S. 149-156). Zürich: Verlag Pestalozzianum an der Pädagogischen Hochschule Zürich.
- Shamos, M. H. (2002). Durch Prozesse ein Bewußtsein für die Naturwissenschaften gewinnen. In W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa & R. Evans (Hrsg.), *Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung* (S. 45-68). Opladen: Leske + Budrich.
- Shavelson, R. J. & Ruiz-Primo, M. A. (1999). Leistungsbewertung im naturwissenschaftlichen Unterricht. Evaluation in Natural Science Instruction. *Unterrichtswissenschaft. Zeitschrift für Lernforschung*, 27 (2), 102-127.
- Shute, V. J. & Glaser, R. (1990). A Large-Scale Evaluation of an Intelligent Discovery World: Smithtown. *Interactive Learning Environments*, 1 (1), 51-77.
- Siler, S. A. & Klahr, D. (2015). Effects of Terminological Concreteness on Middle-school Students' Learning of Experimental Design. *Journal of Educational Psychology* (August), 1-45. Zugriff am 11.12.2015. Verfügbar unter DOI: 10.1037/edu/0000072
- Sjuts, J. (2008). Aufgaben diagnostisch gestalten. Denkprozesse aufdecken und Verstehen fördern. *Mathematik lehren* (150), 58-61.
- Smith, T. M. & Smith, R. L. (2009). *Ökologie* (Bio-Biologie, [1., dt. Ausg.] 6., aktualisierte Aufl. [der amerikanischen. Ausg.] /). München: Pearson Studium. Verfügbar unter http://www.gbv.de/dms/weimar/toc/561152438_toc.pdf
- Sodian, B. (2008). Entwicklung des Denkens. In R. Oerter, L. Montada & Oerter-Montada (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie. [CD-ROM, Lehrbuch]* (6., vollst. überarb. Aufl., S. 436-479). Weinheim: Beltz PVU.
- Sodian, B., Koerber, S. & Thoermer, C. (2006). Entwicklung des naturwissenschaftlichen Denkens im Vor- und Grundschulalter. In P. Nentwig & S. Schanze (Hrsg.), *Es ist nie zu früh! Naturwissenschaftliche Bildung in jungen Jahren* (S. 11-20). Münster: Waxmann.
- Sodian, B., Thoermer, C., Kircher, E., Grygier, P. & Günther, J. (2002). Vermittlung von Wissenschaftsverständnis in der Grundschule. In M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen. Zeitschrift für Pädagogik - 45. Beiheft* (S. 192-206). Weinheim: Beltz.
- Sommer, S. (2014). Vorsicht Kurzschluss! Die HATTIE-Studie, PISA, Experimente und der naturwissenschaftliche Unterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 67 (1), 53-56.
- Sommer, U. (2005). *Biologische Meereskunde* (2. überarb. Aufl.). Berlin: Springer.
- Sotiriou, S., Xanthoudaki, M., Calcagnini, S., Zervas, P., Sampson, D. G. & Bogner, F. X. (2012). *PATHWAY Richtlinien für Lehrkräfte zu forschungsbasiertem Lehren in Naturwissenschaften. Projekt-Arbeitsergebnis D4.3*. Pallini Attikis, Griechenland: EPINOIA.
- Souvignier, E. & Gold, A. (2006). Wirksamkeit von Lernmethoden. In K. Schweizer (Hrsg.), *Leistung und Leistungsdiagnostik. Mit 18 Tabellen* (S. 146-166). Heidelberg: Springer Medizin.
- Spiewak, M. (2015, 28. Mai). Heimvorteil. Wie schlaue wir werden, entscheidet sich nicht erst in der Schule. Gerade entdeckt die Forschung, welche Faktoren in den ersten Lebensjahren die entscheidende Rolle spielen. *Die Zeit*, S. 33-34.
- Spörhase, U. (2012). Was soll Biologiedidaktik leisten? In U. Spörhase (Hrsg.), *Biologie Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (5. Aufl., S. 10-23). Berlin: Cornelsen.
- Spörhase, U. (2012). Welche allgemeinen Ziele verfolgt Biologieunterricht. In U. Spörhase (Hrsg.), *Biologie Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (5. Aufl., S. 24-61). Berlin: Cornelsen.
- Spörhase, U. (2012). Wie lässt sich Unterrichtserfolg ermitteln? In U. Spörhase (Hrsg.), *Biologie Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (5. Aufl., S. 273-299). Berlin: Cornelsen.
- Spörhase, U. & Ruppert, W. (Hrsg.). (2010). *Biologie-Methodik. Handbuch für die Sekundarstufe I und II* (1. Aufl.). Berlin: Cornelsen Scriptor.

- Spörhase, U. & Ruppert, W. (Hrsg.). (2014). *Biologie-Methodik. Handbuch für die Sekundarstufe I und II* (2. Aufl.). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Spörhase-Eichmann, U. (2008). Welche Ziele verfolgt Biologieunterricht? In U. Spörhase-Eichmann & W. Ruppert (Hrsg.), *Biologie-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (3. Aufl., S. 25-67). Berlin: Cornelsen.
- Sprenger, S. & Otto, K.-H. (2014). (Experimentelle) Lehr-/Lernformen als Grundlage für gesellschaftlich relevante Entscheidungsprozesse (dargestellt am Beispiel der nachhaltigen Energiegewinnung). In M. M. Müller, I. Hemmer & M. Trappe (Hrsg.), *Nachhaltigkeit neu denken. Rio+X: Impulse für Bildung und Wissenschaft* (S. 265-274). München: Oekom.
- Stadler, M. (2009). Modul 3: Aus Fehlern lernen. In M. Prenzel, A. Friedrich & M. Stadler (Hrsg.), *Von SINUS lernen - wie Unterrichtsentwicklung gelingt. [mit CD-ROM]* (Sinus-Transfer, 1. Aufl., S. 27-30). Seelze-Velber: Klett Kallmeyer.
- Staeck, L. (2010). *Zeitgemäßer Biologieunterricht. Eine Didaktik für die Neue Schulbiologie* (7. Aufl.). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Stangl, W. (2006). Mnemotechnik. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 89-101). Göttingen: Hogrefe.
- Stark, R., Graf, M., Mandl, H., Renkl, A. & Gruber, H. (1995). Förderung von Handlungskompetenz durch geleitetes Problemlösen und multiple Lernkontexte. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und pädagogische Psychologie*, 27 (4), 289-312.
- Starosta, B. (1991). Empirische Untersuchung zur Methodik des gelenkten entdeckenden Lernens in der freien Natur und über den Einfluß der Unterrichtsform auf kognitiven Lernerfolg und Interesse für biologische Sachverhalte. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 44 (7), 422-431.
- Stäudel, L. (2004). Naturwissenschaften verstehen! *lernchancen* (42), 4-9.
- Stäudel, L. (2006). Von der Testaufgabe zur Lernaufgabe. In U. Steffens & R. Messner (Hrsg.), *PISA macht Schule. Konzeptionen und Praxisbeispiele für die neuen Aufgabekultur* (Folgerungen aus PISA für Schule und Unterricht, Bd. 3, 1. Aufl., S. 181-240). Wiesbaden: Inst. für Qualitätsentwicklung.
- Stäudel, L. (2010). TIMSS, PISA, SINUS, Bildungsstandards. Natur der Naturwissenschaften in Entwicklung. *Unterricht Chemie*, 21 (118/119), 28-35.
- Stäudel, L. (2014). *Lernen fördern: Naturwissenschaften. Unterricht in der Sekundarstufe I* (Schule weiterentwickeln - Unterricht verbessern / Unterrichtsentwicklung und Unterrichtsqualität (Praxisband)). Seelze: Kallmeyer in Verbindung mit Klett / Friedrich.
- Stäudel, L. & Mogge, S. (Hrsg.). (2008). *Aufgaben mit gestuften Hilfen für den Biologie-Unterricht. Aufgabensammlung mit Lernhilfen in unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden*. Seelze: Friedrich.
- Stäudel, L., Pfeifer, P. & Sommer, K. (2010). In Standardsituationen des Unterrichts das Wesen der Naturwissenschaften erkennen. *Unterricht Chemie*, 21 (118/119), 41-49.
- Stäudel, L., Werber, B. & Freiman, T. (2004). *Naturwissenschaften - verstehen & anwenden* (Lernbox Naturwissenschaften, 2. Aufl., 5. - 7. Tsd.). Seelze-Velber: Friedrich.
- Stäudel, L., Werber, B. & Wodzinski, R. (2006). *Forschen wie ein Naturwissenschaftler. Das Arbeits- und Methodenbuch ; [mit Quartettspiel zum Thema Ordnen]* (Lernbox Naturwissenschaften, 1. Aufl.). Seelze/Velber: Friedrich.
- Stauvermann, J. (2008). *Assessment von Kompetenzen beim Experimentieren im Biologieunterricht der Sekundarstufe I: Eine empirische Untersuchung zum Einfluss des Testformats. Unveröffentlichte Schriftliche Hausarbeit im Fach Biologie zur Erlangung des ersten Staatsexamens für das Lehramt an Gymnasien und Gesamtschulen. Westfälische Wilhelms-Universität Münster*. Münster: Universität Münster.
- Stawitz, H. (2010). *Auswirkung unterschiedlicher Aufgabenprofile auf die Schülerleistung. Vergleich von Naturwissenschafts- und Problemlöseaufgaben der PISA 2003-Studie*. Berlin: Logos.
- Stebler, R., Reusser, K. & Ramseier, E. (1998). Praktische Anwendungsaufgaben zur integrierten Förderung formaler und materialer Kompetenzen. Erträge aus dem TIMSS-Experimentiertest. *Bildungsforschung und Bildungspraxis*, 20 (1), 28-53.
- Steidle, J. L. M., Scheu, S., Brose, U. & Kronberg, I. (2009). Ökologie und Evolutionsforschung - Wissenschaft zum Überleben. In K. Munk (Hrsg.), *Ökologie - Evolution. In der Reihe 'Taschenlehrbuch Biologie'* (S. 1-4). Stuttgart: Thieme.
- Steigert, T. & Schrenk, M. (2012). Fördert eigenständiges Experimentieren die Entwicklung wissenschaftsnaher Vorstellungen zum Pflanzstoffwechsel? Teilprojekt 3. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 199-211). Münster: Waxmann.
- Steiner, G. (2006). Lernen und Wissenserwerb. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (5., vollst. überarb. Aufl., S. 137-202). Weinheim: Beltz PVU.
- Stollenwerk, N. (2008). Entwicklung, Erprobung und Evaluation einer multimedialen Lernumgebung zum nachhaltigen Umgang mit dem Ökosystem Wald. In U. Frischknecht-Tobler, U. Nagel & H. Seybold (Hrsg.), *Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen* (S. 119-133). Zürich: Verlag Pestalozzianum an der Pädagogischen Hochschule Zürich.
- Storch, V. (2017). Plädoyer für die Bürgerwissenschaft. *Biologie in unserer Zeit*, 47 (1), 3.
- Strauss, H. (2016, 30. November). Gefahr droht nach der Grundschule. [zur interanationalen Grundschulleistungsvergleichsstudie Timss]. *Ludwigsburger Kreiszeitung*, S. 2.
- Strike, K. A. & Posner, G. J. (1992). A Revisionist Theory of Conceptual Change. In R. A. Duschl & R. J. Hamilton (Hrsg.), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice* (S. 147-176). Albany: State University of New York Press.
- Stripf, R. (Hrsg.). (2006). *Methoden-Handbuch Biologie* (2 Bände). Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Strobl, G. (2008). Naturwissenschaftliche Bildung - fachorientiert oder Fächer übergreifend. In K. P. Ohly & G. Strobl (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung. Konzepte und Praxisbeispiele für die Oberstufe* (S. 31-45). Weinheim und Basel: Beltz.
- Strobl, G. (2008). "Umwandlungen" - ein Weg in die Naturwissenschaften zwischen eigenem "Forschen" und Nachdenken. In K. P. Ohly & G. Strobl (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung. Konzepte und Praxisbeispiele für die Oberstufe* (S. 79-100). Weinheim und Basel: Beltz.

- Stuke, H. (2012). Konkretisierungen zu ausgewählten Aspekten des Biologieunterrichts. In D. Krüger (Hrsg.), *Biologie erfolgreich unterrichten. Empfehlungen für (junge) Lehrkräfte* (S. 103-128). Hallbergmoos: Aulis / Stark Verlagsgemeinschaft.
- Suhr, W. (2010). Experimentieren - Erwartungsvolles Suchen nach dem Verlässlichen. In H. Köster, F. Hellmich & V. Nordmeier (Hrsg.), *Handbuch Experimentieren* (S. 3-17). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Sumfleth, E., Wild, E., Rumann, S. & Exeler, J. (2002). Wege zur Förderung der naturwissenschaftlichen Grundbildung im Chemieunterricht. Kooperatives Problemlösen im schulischen und familialen Kontext zum Themenbereich Säure-Base. In M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen. Zeitschrift für Pädagogik - 45. Beiheft* (S. 207-221). Einheim: Beltz.
- Suwelack, W. (2011). Lehren und Lernen im kompetenzorientierten Unterricht. Modellvorstellungen für die Praxis: Vom Kompetenzmodell zum Prozessmodell ("Lernfermenter"). In Deutscher Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts e. V. (Hrsg.), *Biologie erfolgreich lehren - zwischen Ausbildungsstandards und Fachwissenschaft. 14. Fachleitertagung Biologie 2010* (MNU-Dokumentationen / Fachleitertagung, S. 63-70). Neuss: Seeberger.
- Tamir, P. (1998). Assessment and Evaluation in Science Education: Opportunities to Learn and Outcomes. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Hrsg.), *International Handbook of Science Education. Part Two* (S. 761-789). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Terzer, E. & Upmeier zu Belzen, Annette. (2007). Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung durch Modelle - Modellverständnis als Grundlage für Modellkompetenz. *Berichte des Institutes für Didaktik der Biologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, IDB, 16*, 33-56. Zugriff am 21.03.2016. Verfügbar unter http://repositorium.uni-muenster.de/document/miami/3862ea79-b7e0-44b4-9e1b-b02a37503c6f/16-2007_03_Terzer.pdf
- Tesch, M. & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht - Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 10*, 51-69, 667 K. Verfügbar unter ftp://ftp.ipn.uni-kiel.de/pub/zfdn/2004/3.Tesch_Duit_051-070.pdf
- Theyßen, H. (2014). Methodik von Vergleichsstudien zur Wirkung von Unterrichtsmedien. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 67-79). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Thillmann, H. (2007). *Selbstreguliertes Lernen durch Experimentieren: Von der Erfassung zur Förderung. Dissertation an der Universität Duisburg-Essen*. Essen.
- Thillmann, H., Küsting, J., Wirth, J. & Leutner, D. (2009). Is it Merely a Question of "What" to Prompt or Also "When" to Prompt? The Role of Point of Presentation Time of Prompts in Self-Regulated Learning. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 23* (2), 105-115.
- Thyssen, C., Hornung, G. & Mayerl, J. (2016). Beeinflusst universitäre Ausbildung über Einstellung, Normen und Verhaltenskontrolle das Experimentieren im Biologieunterricht? In U. Gebhard & M. Hamann (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. "Bildung durch Biologieunterricht". Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Hamburg 2015* (Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik, Bd. 7, 207-227). Innsbruck: Studienverlag.
- Tiemann, R., Koppelt, J. & Nehring, A. (2011). Empirische Fundierung chemiedidaktischer Forschung - ein Beitrag zum kompetenztheoretischen Ansatz der Problemlöseforschung. In H. Bayrhuber, U. Harms, B. Muszynski, B. Ralle, M. Rothgangel, L.-H. Schön et al. (Hrsg.), *Empirische Fundierung in den Fachdidaktiken* (Fachdidaktische Forschungen, Bd. 1, S. 257-273). Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Töpfer, R. (1966). *Leitfaden zur Versuchskartei 'Schüler experimentieren'. Teil I*. Göttingen: Industrie-Druck.
- Töpperwien, B. & Köttker, N. (2008). *Kompetenzen vermitteln, Kompetenzen erwerben - Biologie. Konkrete Anregungen mit Unterrichtsmaterialien unter besonderer Berücksichtigung der Basiskonzepte*. Köln: Aulis-Verl. Deubner.
- Townsend, C. R., Begon, M. & Harper, J. L. (2009). *Ökologie* (2. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Trautmann, M. & Wischer, B. (2007). Individuell fördern im Unterricht. Was wissen wir über innere Differenzierung? *Pädagogik (Weinheim), 59* (12), 44-48.
- Trendel, G., Wackermann, R. & Fischer, H. E. (2008). Lernprozessorientierte Fortbildung von Physiklehrern. *Zeitschrift für Pädagogik, 54* (3), 322-340.
- Uhlmann, S. & Priemer, B. (2011). Der BoFEx - Fragebogen. Die Erhebung von Ansichten über wissenschaftliche Experimente. In D. Höttecke (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Potsdam 2010* (S. 423-425). Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Ullrich, C. (2005). *Erwerb von Problemlösefähigkeit durch Lernumgebungen. Konzeption und Implementierung eines Frameworks*. (Forschungsbeiträge zur Wirtschaftsinformatik, 1. Aufl.). Univ., Diss.--Bamberg, 2005. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. Verfügbar unter <http://www.gbv.de/dms/hbz/toc/ht014440649.pdf>
- Unterbruner, U. (2007). Multimedia-Lernen und Cognitive Load. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (Springer-Lehrbuch, S. 153-164). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Unterbruner, U. (2010). Vorstellungen österreichischer und deutscher Jugendlicher von einer Welt in 20 Jahren und der Rolle, die Natur und Technik darin spielen werden. In U. Harms & I. Mackensen-Friedrichs (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. Bd. 4. "Heterogenität erfassen - individuell fördern im Biologieunterricht". Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Kiel 2009*. (S. 99-117). Innsbruck: Studien Verlag.
- Unterbruner, U. (2013). Umweltbildung. In H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (9. Aufl., S. 169-190). Hallbergmoos: Aulis / Stark Verlagsgemeinschaft.
- Unterbruner, U., Pfligersdorffer, G. & Zumbach, J. (2008). natureLe@rn - Eine Studie zum problemorientierten Ökologieunterricht via Lernplattform "moodle". In U. Harms & A. Sandmann (Hrsg.), *Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Essen 2007* (Forschungen zur Fachdidaktik, Bd. 10, S. 199-215). Innsbruck: StudienVerl.
- Upmeier zu Belzen, A. (2007). Einstellungen im Kontext Biologieunterricht. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (Springer-Lehrbuch, S. 21-31). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Upmeier zu Belzen, A. (2013). Unterrichten mit Modellen. In H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (9. Aufl., S. 325-334). Hallbergmoos: Aulis / Stark Verlagsgemeinschaft.

- Upmeier zu Belzen, A. & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. Model competence in biology teaching. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 41-57.
- Urhahne, D. (2008). Sieben Arten der Lernmotivation. Ein Überblick über zentrale Forschungskonzepte. *Psychologische Rundschau*, 59 (3), 150-166.
- Urhahne, D. & Harms, U. (2006). Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen. *Unterrichtswissenschaft*, 34 (4), 358-377.
- Urhahne, D., Kremer, K. & Mayer, J. (2008). Welches Verständnis haben Jugendliche von der Natur der Naturwissenschaften? Entwicklung und erste Schritte zur Validierung eines Fragebogens. *Unterrichtswissenschaft*, 36 (1), 71-93.
- Urhahne, D., Prenzel, M., Davier, M. von, Senkbeil, M. & Bleschke, M. (2000). Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht - Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 6, 157-186. Zugriff am 08.02.2017. Verfügbar unter ftp://ftp.ipn.uni-kiel.de/pub/zfdn/2000/S.157-186_Urhahne_Prenzel_etal_2000.pdf
- van den Berg, I. (2015). Der Einfluss von Stress auf Lernen und Gedächtnis. Eine differenzierte Betrachtung. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 68 (1), 52-56.
- van der Kraats, M. & Humml, S. (2015, 17. Januar). Die Erde ist am Limit. *Ludwigsburger Kreiszeitung*, S. 21.
- van Vorst, H. (2013). *Kontextmerkmale und ihr Einfluss auf das Schülerinteresse im Fach Chemie. Dissertation an der Universität Duisburg-Essen*. Berlin: Logos.
- van Vorst, H., Dorsch, A., Fechner, S., Kauertz, A., Krabbe, H. & Sumfleth, E. (2015). Charakterisierung und Strukturierung von Kontexten im naturwissenschaftlichen Unterricht - Vorschlag einer theoretischen Modellierung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21, 29-39.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure e. V.) (2004). *Bildungsstandards im Fach Technik für den mittleren Schulabschluss*. Zugriff am 28.05.2015. Zugriff am 31.08.2015. Verfügbar unter <http://www.vdi-bb.de/bvbb/projekte/bildung/VDIBildungsstandardsTechnik.pdf>
- Venus-Wagner, I. (2011). Kompetenzorientierte Aufgaben. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 64 (7 (Okt.)), 428-432.
- Vereinte Nationen. (2015). *Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung. Ergebnisdokument des Gipfeltreffens der Vereinten Nationen zur Verabschiedung der Post-2015-Entwicklungsagenda*, Generalversammlung der Vereinten Nationen. Zugriff am 25.08.2017. Verfügbar unter <http://www.un.org/depts/german/gv-70/a70-1.pdf>
- Vogel, A. (2010). *Systemisches Denken im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung: Eine Unterrichtseinheit für die 6. Klasse. Lehrerhandreichung mit Unterrichtsmaterialien* (2. Aufl.). Unveröffentlichtes Manual des Forschungsprojekts SYSDENA. Freiburg: Pädagogische Hochschule Freiburg.
- Vogel, A., Rieß, W. & Nerb, J. (2011). Systemisches Denken im Umgang mit Natur. Welche subjektiven Theorien entwickeln SchülerInnen im Umgang mit komplexen Systemen? In S. (Holzheu (Hrsg.), *"Didaktik der Biologie - Standortbestimmung und Perspektiven"*. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBio. Universität Bayreuth. 12. bis 16. September 2011. Zusammenfassung der Beiträge (S. 66-67). Bayreuth: BayCEER bzw. Bamberg: Difo-Druck.
- Vogl, R., Mandl, H., Meixner, M. & Klatt, S. (2015). *Innovative Waldprojekte. Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Grundschule*. München: Oekom.
- Vogt, F. & Meier, A. (2014). Problemorientierte Lernaufgaben mit und ohne Experimentieranleitung. Der Einbezug von Vorwissen im inquiry based learning in der Grundschule. In B. Ralle, S. Prediger, M. Hammann & M. Rothgangel (Hrsg.), *Lernaufgaben entwickeln, bearbeiten und überprüfen. Ergebnisse und Perspektiven fachdidaktischer Forschung* (Fachdidaktische Forschungen, Bd. 6, S. 188-196). Münster, New York: Waxmann.
- Vogt, H. (2007). Theorie des Interesses und des Nicht-Interesses. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biomedizinischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (Springer-Lehrbuch, S. 9-20). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Vogt, H., Upmeier zu Belzen, A., Schröer, T. & Hoek, I. (1999). Unterrichtliche Aspekte im Fach Biologie, durch die Unterricht aus Schülersicht als interessant erachtet wird. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 5 (3), 75-85.
- Vollmeyer, R., Burns, B. D. & Holyoak, K. J. (1996). The Impact of Goal Specificity on Strategy Use and the Acquisition of Problem Structure. *Cognitive Science*, 20 (1), 75-100.
- Vollmeyer, R. & Rheinberg, F. (1998). Motivationale Einflüsse auf Erwerb und Anwendung von Wissen in einem computersimulierten System. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 12 (1), 11-23.
- Vorholzer, A. (2016). *Wie lassen sich Kompetenzen des experimentellen Denkens und Arbeitens fördern? Eine empirische Untersuchung der Wirkung eines expliziten und eines impliziten Instruktionsansatzes [Vorläufige Endversion, Manuskript zugesandt am 21.03.2016]* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 197). Berlin: Logos.
- Vorholzer, A., Aufschnaiter, C. von & Kirschner, S. (2016). Entwicklung und Erprobung eines Tests zur Erfassung des Verständnisses experimenteller Denk- und Arbeitsweisen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22, 25-41.
- Wagener, A. (1982). Experimentieren im Biologieunterricht. Ein Thema im Biologie-Fachseminar des Vorbereitungsdienstes. *Naturwissenschaften im Unterricht - Biologie*, 30 (12), 425-435.
- Wagener, A. (1992). *Biologie unterrichten. Ein fachdidaktisches Arbeitsbuch*. Heidelberg: Quelle & Meyer.
- Wahrig, G. (Hrsg.). (1993). *Deutsches Wörterbuch. Mit einem "Lexikon der deutschen Sprachlehre"*. Gütersloh: Bertelsmann Lexikon Verlag.
- Wahser, I. (2007). *Training von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Fach Chemie. Eine experimentelle Laborstudie* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 73). Essen, Univ., Diss.--Duisburg, 2007. Berlin: Logos-Verlag.
- Walpuski, M. (2006). *Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback. Eine empirische Studie*. Dissertation. Berlin: Logos.
- Walpuski, M., Kampa, N., Kauertz, A. & Wellnitz, N. (2008). Evaluation der Bildungsstandards in den Naturwissenschaften. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 61 (6), 323-326.

- Walpuski, M., Mannel, S. & Sumfleth, E. (2011). Messung naturwissenschaftlich-experimenteller Kompetenz. In D. Höttecke (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Potsdam 2010* (S. 238-240). Berlin: LIT Verlag Dr. W. Hopf.
- Walpuski, M. & Ropohl, M. (2011). Einfluss des Testaufgabendesigns auf Schülerleistungen. *Unterricht Chemie*, 22 (124/125), 82-86.
- Walpuski, M. & Sumfleth, E. (2007). Strukturierungshilfen und Feedback zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Chemieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 181-198.
- Walther, M. (2012). Geschlechterforschung in der Schulpädagogik. In M. Kampshoff & C. Wiepcke (Hrsg.), *Handbuch Geschlechterforschung Fachdidaktik* (S. 357-370). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften | Springer Fachmedien.
- Watermann, R. & Baumert, J. (2000). Mathematische und naturwissenschaftliche Grundbildung beim Übergang von der Schule in den Beruf. In J. Baumert, W. Bos & R. Lehmann (Hrsg.), *TIMSS/III. Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie - Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Band 1: Mathematische und naturwissenschaftliche Grundbildung am Ende der Pflichtschulzeit* (Bd. 1, S. 199-259). Opladen: Leske + Budrich.
- Weidenmann, B. (2006). Lernen mit Medien. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (5., vollst. überarb. Aufl., S. 423-476). Weinheim: Beltz PVU.
- Weiglhofer, H. (2007). Das sozial-kognitive Prozessmodell gesundheitlichen Handelns. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biomedizinischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (Springer-Lehrbuch, S. 45-56). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Weinbrenner, P. (1992). Grundlagen und Methodenprobleme sozialwissenschaftlicher Schulbuchforschung. In K. P. Fritzsche (Hrsg.), *Schulbücher auf dem Prüfstand. Perspektiven der Schulbuchforschung und Schulbuchbeurteilung in Europa* (Studien zur internationalen Schulbuchforschung, Bd. 75, S. 33-54). Frankfurt/Main: Diesterweg.
- Weinert, F. E. (2002). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen - eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen* (Beltz Pädagogik, 2., unveränd. Aufl., S. 17-31). Weinheim: Beltz.
- Weißbrodt, W. (2006). Leistungs- und Lernmotivation. In G. Bovet & V. Huwendiek (Hrsg.), *Leitfaden Schulpraxis. Pädagogik und Psychologie für den Lehrberuf* (4., komplett überarb. Aufl., S. 272-292). Berlin: Cornelsen.
- Weitze, M.-D. (2014). Citizen Science und Partizipation. Wie Dialogformate Wissenschaft und Gesellschaft näher zueinander bringen. *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule*, 63 (8), 10-14.
- Weitzel, H. (2012). Welche Bedeutung haben vorunterrichtliche Vorstellungen für das Lernen. In U. Spörhase (Hrsg.), *Biologie Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (5. Aufl., S. 62-81). Berlin: Cornelsen.
- Weitzel, H. (2012). Wie kann Unterricht Vorstellungsänderungen bewirken? In U. Spörhase (Hrsg.), *Biologie Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (5. Aufl., S. 82-93). Berlin: Cornelsen.
- Wellnitz, N. & Mayer, J. (2012). Beobachten, Vergleichen und Experimentieren: Wege der Erkenntnisgewinnung. In U. Harms & F. X. Bogner (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. "Didaktik der Biologie - Standortbestimmung und Perspektiven". Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Bayreuth, 2011* (Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik, Bd. 5, S. 63-79). Innsbruck: Studienverlag.
- Wellnitz, N. & Mayer, J. (2013). Erkenntnismethoden in der Biologie - Entwicklung und Evaluation eines Kompetenzmodells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 315-345. Zugriff am 09.01.2016. Verfügbar unter http://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/19_Wellnitz.pdf
- Welzel, M., Haller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumaras, P., Niedderer, A. et al. (1998). Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden. Ergebnisse einer europäischen Umfrage. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4 (1), 29-44.
- Wenning, S., Hülsken, A. & Sandmann, A. (2013). Lehrerfortbildungen für Biologie: Interessen, Erwartungen und Erfahrungen von Biologielehrkräften. In J. Mayer, M. Hammann, N. Wellnitz, J. Arnold & M. Werner (Hrsg.), *Theorie - Empirie - Praxis. Abstractband. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBIO, 16.09. - 20.09.2013, Universität Kassel* (S. 40-41). Kassel: kassel university press.
- Wenning, S. & Sandmann, A. (2016). Bio-Innovativ: Netzwerk Lehrerfortbildung. *Biologie in unserer Zeit*, 46 (1), 12-14.
- Werning, R. & Kriwet, I. (1999). Problemlösendes Lernen. *Pädagogik (Weinheim)*, 51 (10), 7-11.
- Wess, L. & Nellen, W. (2016). Woran kann man guten Wissenschaftsjournalismus erkennen? Science ohne Fiction. *Biologie in unserer Zeit*, 46 (6), 366-372.
- Westermann, B. (2009). Anwendungen und Modellbildung. In T. Leuders (Hrsg.), *Mathematik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (4. Aufl., S. 148-162). Berlin: Cornelsen-Scriptor.
- Westheide, W. & Rieger, R. (2007). *Spezielle Zoologie. Teil 1: Einzeller und Wirbellose Tiere* (2. Aufl.). Heidelberg: Elsevier GmbH / Spektrum Akademischer Verlag.
- White, R. & Gunstone, R. (1999). Alternativen zur Erfassung von Verstehensprozessen. Alternatives in the Assessment of Understanding. *Unterrichtswissenschaft. Zeitschrift für Lernforschung*, 27 (2), 128-134.
- Wichmann, A. & Leutner, D. (2009). Inquiry Learning. Multilevel Support with Respect to Inquiry, Explanations and Regulation During an Inquiry Cycle. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23 (2), 117-127.
- Widodo, A. & Duit, R. (2004). Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis des Physikunterrichts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 233-255.
- Widodo, A. & Duit, R. (2005). Konstruktivistische Lehr-Lern-Sequenzen und die Praxis des Physikunterrichts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 131-146.
- Wieneke, J. (2011). Selbstbestimmt, aber nicht allein. Welche Art von Lernbegleitung brauchen forschende Menschen? *Grundschule* (6), 28-30.
- Wild, E., Hofer, M. & Pekrun, R. (2006). Psychologie des Lernalers. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (5., vollst. überarb. Aufl., S. 203-267). Weinheim: Beltz PVU.

- Wild, K.-P. & Krapp, A. (2006). Pädagogisch-psychologische Diagnostik. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (5., vollst. überarb. Aufl., S. 525-574). Weinheim: Beltz PVU.
- Wilhelm, M., Rehm, M. & Reinhardt, V. (2010). Urteilen in Dilemmasituationen. *Nature of Science und Bildung für Nachhaltige Entwicklung. Unterricht Chemie*, 21 (118/119), 89-93.
- Wilhelm, T. & Hopf, M. (2014). Design-Forschung. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 31-42). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wilhelmi, V. (2011). Geographische Umweltbildung weiterdenken. Auf dem Weg zu kompetentem Handeln. *Praxis Geographie* (2), 4-8.
- Wilhelmi, V. (2012). Die experimentelle Lehrform. Herausforderung des kompetenzorientierten Geographieunterrichts. *Praxis Geographie* (7-8), 4-9.
- Windt, A., Scheuer, R. & Melle, I. (2014). Naturwissenschaftliches Experimentieren im Elementarbereich - Evaluation unterschiedlich stark angeleiteter Lernsituationen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 20, 69-85.
- Wirth, J. & Funke, J. (2005). Dynamisches Problemlösen: Entwicklung und Evaluation eines neuen Messverfahrens zum Steuern komplexer Systeme. In E. Klieme, D. Leutner & J. Wirth (Hrsg.), *Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern. Diagnostische Ansätze, theoretische Grundlagen und empirische Befunde der deutschen PISA-2000-Studie* (1. Aufl., S. 55-72). Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwiss.
- Wirth, J., Thillmann, H., Küsting, J., Fischer, H. E. & Leutner, D. (2008). Das Schülerexperiment im naturwissenschaftlichen Unterricht. Bedingungen der Lernförderlichkeit einer verbreiteten Lehrmethode aus instruktionspsychologischer Sicht. *Zeitschrift für Pädagogik*, 54 (3), 361-375.
- Wirth, J., Thillmann, H., Marschner, J., Gößling, J. & Küsting, J. (2011). Lernen durch Experimentieren. Utopie oder nur eine Frage der Technik? *Unterricht Chemie*, 22 (126), 14-17.
- Wirtz, M. & Caspar, F. (2002). *Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität. Methoden zur Bestimmung und Verbesserung der Zuverlässigkeit von Einschätzungen mittels Kategoriensystemen und Ratingskalen*. Göttingen: Hogrefe Verl. für Psychologie.
- Wirtz, M. & Nachtigall, C. (2008). *Deskriptive Statistik* (Statistische Methoden für Psychologen, / Markus Wirtz; Christof Nachtigall; Teil 1, 5., überarb. Aufl.). Weinheim: Juventa-Verlag.
- Wirtz, M. & Schulz, A. (2012). Modellbasierter Einsatz von Experimenten. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 57-74). Münster: Waxmann.
- Wiskamp, V. (2008). *Naturwissenschaftliches Experimentieren. Nicht erst ab Klasse 7* (Beiträge zur Didaktik, 3., überarb. und erw. Aufl.). Aachen: Shaker.
- Wodzinski, R. (2009). Mädchen im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwitz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (Springer-Lehrbuch, 2. Aufl., S. 583-604). Berlin: Springer.
- Wodzinski, R. (2010). Experimentieren lernen. In H. Köster, F. Hellmich & V. Nordmeier (Hrsg.), *Handbuch Experimentieren* (S. 153-169). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Wottawa, H. (2006). Evaluation. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (5., vollst. überarb. Aufl., S. 659-687). Weinheim: Beltz PVU.
- Wu, H.-K. & Hsieh, C.-E. (2006). Developing Sixth Graders' Inquiry Skills to Construct Explanations in Inquiry-based Learning Environments. *International Journal of Science Education*, 28 (11), 1289-1313.
- Wüller, M. & Bohrmann, J. (2011). Wie funktioniert biologische Forschung? *Unterricht Biologie* (362), 2-5.
- Wüsten, S., Schmelzing, S., Sandmann, A. & Neuhaus, B. J. (2010). Fachspezifische Qualitätsmerkmale von Biologieunterricht. In U. Harms & I. Mackensen-Friedrichs (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. Bd. 4. "Heterogenität erfassen - individuell fördern im Biologieunterricht"*. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Kiel 2009. (S. 119-134). Innsbruck: Studien Verlag.
- Zacharia, Z. C. (2005). The Impact of Interactive Computer Simulations on the Nature and Quality of Postgraduate Science Teachers' Explanations in Physics. *International Journal of Science Education*, 27 (14), 1741-1767.
- Zech, F. (2002). *Grundkurs Mathematikdidaktik. Theoretische und praktische Anleitungen für das Lehren und Lernen von Mathematik* (10. Aufl.). Weinheim, Basel: Beltz.
- Zehren, W., Neber, H. & Hempelmann, R. (2013). Forschendes Experimentieren im Schülerlabor. Kognitive und motivationale Effekte. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 66 (7), 416-423.
- Zhang, J., Chen, Q., Sun, Y. & Reid, D. J. (2004). Triple scheme of learning support design for scientific discovery learning based on computer simulation: experimental research. *Journal of Computer Assisted Learning*, 20, 269-282.
- Zhang, W.-X., Hsu, Y.-S., Wang, C.-Y. & Ho, Y.-T. (2015). Exploring the Impacts of Cognitive and Metacognitive Prompting on Students' Scientific Inquiry Practices Within an E-Learning Environment. *International Journal of Science Education*, 37 (3), 529-553.
- Ziemek, H.-P., Keiner, K.-H. & Mayer, J. (2005). Problemlöseprozesse von Schülern der Biologie im naturwissenschaftlichen Unterricht - Ergebnisse qualitativer Studien. In R. Klee, A. Sandmann & H. Vogt (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. Bd. 2* (S. 29-40). Innsbruck: Studien Verlag.
- Ziener, G. & Kessler, M. (2012). *Kompetenzorientiert unterrichten - mit Methode. Methoden entdecken, verändern, erfinden*. Seelze: Kallmeyer in Verbindung mit Klett / Friedrich.
- Zimmerman, C. (2000). The Development of Scientific Reasoning Skills. *Developmental Review* (20), 99-149.
- Zizka, G. (2017). Citizen Science. Revolutionieren Bürger die Wissenschaft? *Biologie in unserer Zeit*, 47 (1), 40-45.

9 Anhang

9.1 Schulbuchanalyse

9.1.1 Einzelbeitrag: Rösch (2013)



MN

Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht

05
Jahrgang 66
Juli 2013 · € 7,85

5/2013

- Basisstandards richtig verstehen
- Entwicklung logisch-mathematischen Denkens
- Fachsystematischer Unterricht
- Experimentieren lernen auf Englisch
- Auswertung von Wahlen
- Experimente rund um den Honig
- Die Sumpfschildkröte im Unterricht
- Experimentelle Problemlösefähigkeit
- Computersimulation versus Experiment

3D-Kino im Klassenraum

Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht

Zeitschrift des Deutschen Vereins zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts e. V.
Jahrgang 66, 5/2013, 15. Juli 2013, ISSN 0025-5866

Herausgeber

Hauptschriftleiter

Prof. Dr. BERND RALLE
Kebbestraße 29
44267 Dortmund
Tel. 0231 4755867

dienstl.:

TU Dortmund
Fak. Chemie, Didaktik der Chemie
44221 Dortmund
Bernd.Ralle@mmu.de

Fachschriftleiter Mathematik

OSTD a. D. GERT STARKE
Wittenbrook 14a
24159 Kiel
Tel. 0431 362312
Gert.Starke@mmu.de

StD MICHAEL RÜSING
Palmbuschweg 47
45326 Essen
Tel. 0201 368827
Michael.Ruesing@mmu.de

Fachschriftleiter Physik

OSTD a. D. HERWIG KRÜGER
Untereisselner Straße 33
24226 Heikendorf
Tel. 0431 241538
Herwig.Krueger@mmu.de

Prof. Dr. HEIKE THEYSSEN
Universität Duisburg-Essen
Fak. Physik, Didaktik der Physik
45117 Essen
Tel. 0201 183-3338
Heike.Theysen@mmu.de

Fachschriftleiter Chemie

OSTR WOLFGANG KIRSCH
Irgentalweg 20a
66119 Saarbrücken
Tel. 0681 853265
Wolfgang.Kirsch@mmu.de

Prof. Dr. INSA MELLE
TU Dortmund
Fak. Chemie, Didaktik der Chemie
44221 Dortmund
Tel. 0231 7552933
Insa.Melle@mmu.de

Fachschriftleiter Biologie

Prof. Dr. DITTMAR GRAF
Institut für Biologiedidaktik
Universität Gießen
Karl-Glückner-Straße 21 c
35394 Gießen
Dittmar.Graf@mmu.de

OSTD a. D. ERWIN SCHORR
Schulstraße 2
66780 Siersburg
Erwin.Schorr@mmu.de

STANDPUNKT

- 259 MATTHIAS KREMER
Basisstandards richtig verstehen

AUS BILDUNG UND WISSENSCHAFT

- 260 ADELHEID MÜLLER
Entwicklung logisch-mathematischen Denkens
- 265 GOTTFRIED MERZYN
Fachsystematischer Unterricht

SCHULPRAXIS

- 269 JOHANNES VAN LÜCK
3D-Kino im Klassenraum
- 274 SABINE FECHNER – SUSANNE SCHÜTTLER
Experimentieren lernen auf Englisch – geht das?!
- 281 RALF LEMKE – GERT STARKE
Auswertung von Wahlen
- 289 CLAAS WEGNER – KATHARINA TESCH – WERNER SCHALCO –
KARLHEINZ KOCKERT
Experimente pur – rund um den Honig
- 294 MICHAEL FREUND
Die Europäische Sumpfschildkröte im Unterricht – Teil 2

ZUR DISKUSSION GESTELLT

- 299 FRANK RÖSCH
Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit!?
- 305 MARTIN BAUMANN – UWE SIMON – ASTRID WONISCH –
HELMUT GUTTENBERGER
Computersimulation versus Experiment

DISKUSSION UND KRITIK

AKTUELLES AUS DEM FÖRDERVEREIN

»Leonardo-da-Vinci-Preis« – der VDI Lehrpreis 2014 –
Wettbewerb für innovative MINT-Unterrichtsideen –
Die Initiative »MINT Zukunft schaffen« – Nachruf auf StD i. K. GEORG DIETZ

INFORMATIONEN/TAGUNGEN

LAURA MÄHLER, Jugend forscht Gewinnerin und jüngstes MNU-Mitglied,
über ihre Begeisterung für Mathematik – Online-Lernportal LEIFphysik.de
erweitert – iStage: Programmieren im naturwissenschaftlichen Unterricht

AUFGABEN

BESPRECHUNGEN

- 317 Zeitschriften Biologie
319 Bücher

VORSCHAU



Scannen Sie diesen Code mit Hilfe
Ihres Smartphone-Apps, um auf die
Online-Beilagen zu dieser MNU-
Ausgabe zu gelangen oder gehen Sie
zu www.mmu.de/zeitschrift/2013-05.

Nutzung des Beitrags in diesem Rahmen mit freundlicher Zustimmung des Hauptschriftleiters

Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit!?

Welche Rolle spielen aktuelle Schulbücher und Lehrerhandreichungen?

FRANK RÖSCH

Bieten naturwissenschaftliche Schulbücher Lernenden Gelegenheit, experimentelle Problemlösefähigkeit und ein angemessenes Verständnis des »Experiment«-Begriffs aufzubauen? Enthalten Lehrerhandreichungen innovative Konzepte und Impulse zur Förderung bzw. Diagnose kognitiver experimenteller Kompetenzen? Eine Analyse aktueller Schulbücher für die Unterstufe zeigt, dass es u. a. hinsichtlich der Kompetenzorientierung von Arbeitsaufträgen und der didaktischen Unterstützung von Lehrkräften Nachholbedarf gibt.

»Wenn aber Denken [...] ein sehr hoher absoluter Wert ist, dann müssen zweifellos jene Unterrichtsgebiete, die im Schüler diese Fähigkeit des Denkens am stärksten entwickeln [...], am sorgfältigsten gepflegt werden.« (GEORG KERSCHENSTEINER, 1914)

1 Einleitung

Mit dem Kompetenzbereich »Erkenntnisgewinnung« rücken Bildungsstandards in den Fokus, die Grundlage eigenständiger Problemlösung in Verbindung mit fachgemäßen Denk- und Arbeitsweisen sind (KMK, 2005, S. 6 ff.). Angesichts der Bedeutung des Experiments als Erkenntnismethode und seiner zahlreichen didaktischen Funktionen (BERCK & GRAF, 2010, S. 169) stellt sich die Frage, in welchem Maß aktuelle Schulbücher und Lehrerhandreichungen zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit beitragen (können). Zur Einschätzung tatsächlicher und potenzieller Beiträge für die Optimierung von Lernumgebungen gilt es, zunächst vier Aspekte zu betrachten, bevor die Befunde einer Analyse solcher Medien berichtet werden: (a) die Vorgaben aktueller Bildungspläne (intendiertes Curriculum), (b) deren tatsächliche Umsetzung im Unterricht (implementiertes Curriculum) sowie (c) die gegenwärtige Generation von Schulbüchern und Lehrerhandreichungen, welche als wichtige Mittler für den Transfer der bildungspolitischen Vorgaben in die konkrete Unterrichtsgestaltung angesehen werden (HÄRTIG, KAUERTZ & FISCHER, 2012).

Für die Beurteilung sind zudem (d) Erkenntnisse aus der aktuellen fachdidaktischen und psychologischen Forschung von Bedeutung.

2 Experimentelle Problemlösefähigkeit im Fokus

Bestimmte Kriterien grenzen echte Experimente von anderen naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen, z. B. bloßen »Versuchen«, ab: Indem hypothetische Vorhersagen und empirische Evidenz im hypothetisch-deduktiven Verfahren aufeinander bezogen werden, können Vermutungen über Ursache-Wirkungszusammenhänge überprüft werden. Dabei greift man zielgerichtet in Prozesse eines mehr oder weniger überschaubar- und kontrollierbaren Systems ein und registriert die Effekte. Zur Ableitung aussagekräftiger Schlussfolgerungen bezüglich Kausalbeziehungen zwischen unabhängigen und abhängigen Variablen müssen Ursachen eindeutig identifizierbar sein. Dazu werden Einflussfaktoren isoliert und einzeln in verschiedenen Ansätzen systematisch variiert, während man alle anderen Bedingungen konstant hält (LETHMATE, 2003). Hieraus resultiert die Notwendigkeit einer experimentellen »Kontrolle« zum Vergleich. Überdies erfordern die Auswertung und Interpretation experimentell gewonnener Daten einen kritischen Blick hinsichtlich potentieller Fehler bei der Durchführung bzw. Störgrößen sowie in Bezug auf Beobachtungsdauer, Stichprobengröße sowie Grenzen der Übertragbarkeit der Ergebnisse, etwa bei Experimenten in lebenden Systemen.

Pflanzt man z. B. im Rahmen eines »Versuchs« einen Bohnensamen in einem Blumentopf am Fenster ein, kann zwar der Effekt der Keimung unter bestimmten Bedingungen (z. B. Erde, Feuchtigkeit, Licht, ...) beobachtet werden. Über einen längeren Zeitraum lassen sich dabei verschiedene Arbeitsweisen



Abb. 1. Schüler forschen an einem Modellexperiment zur Bodenerosion

schulen: Betrachten, Vergleichen, Messen, Zeichnen, ... Versuche eignen sich somit dafür, bestimmte naturwissenschaftliche Fragestellungen zu untersuchen und zu beantworten. Um jedoch z. B. beurteilen zu können, ob der Faktor Licht (oder Erde) eine notwendige Bedingung für die Samen-Keimung darstellt, ist ein »echtes Experiment« erforderlich. Bei solch einem Erkenntnisinteresse bedarf es diverser weiterer Kompetenzen (s. o.), zu denen u. a. das Verständnis von Zweck, Ablauf, Logik und Strategien »echter Experimente« gehört.

Eigenständiges Experimentieren ist insofern ein »relativ komplexer, kognitiver, wissensbasierter Problemlöseprozess« (MAYER, 2007, S. 181; vgl. HAMMANN, 2004), geht also weit über manuelle Techniken hinaus. Im Blick auf kognitive Komponenten wird im Folgenden von »experimenteller Problemlösefähigkeit« gesprochen (RÖSCH, RIESS & NERB, 2012) – in Abgrenzung zu rein psychomotorischen Fertigkeiten. Da es höchst anspruchsvoll ist, erfordert eigenständiges Experimentieren Fördermaßnahmen in Form geeigneter Lern- und Unterstützungsangebote – v. a. aber auch die Möglichkeit zu selbstständiger experimenteller Problemlösung. Lernende erhalten jedoch relativ selten Gelegenheit, »praktisch [zu] experimentieren und vor allem [...] eigene Experimente [zu] entwickeln«, durchzuführen und diese ohne Anleitung auszuwerten (PRENZEL, ARTELT, BAUMERT, BLUM, HAMMANN et al., 2007, S. 11). Der Aufbau eines angemessenen konzeptuellen Verständnisses des Experimentierens wird erschwert durch einen unsauberen Umgang mit dem Begriff »Experiment« (LETHMATE, 2003), den hohen Anteil von Effekte produzierenden Versuchen sowie die häufige Nutzung von Experimenten zur bloßen Veranschaulichung von Phänomenen anstelle der Hypothesenprüfung (LUNETTA, HOFSTEIN & CLOUGH, 2007). Da sich Fehlkonzepte (z. B. bezüglich Strategien, Zweck von Experimenten oder der Bedeutung von Hypothesen und Evidenz)

negativ auf wissenschaftliches Denken und wissenschaftsmethodische Kompetenzen auswirken können (SCHAUBLE, KLOPPER & RAGHAVAN, 1991), würde eine genauere Differenzierung fachgemäßer Erkenntnismethoden auch die Güte eigener Experimente begünstigen sowie einen einheitlichen, klaren Umgang mit Begriffen in den naturwissenschaftlichen Fächern gestatten. Hierzu könnten Schulbücher und Lehrerhandreichungen wichtige Beiträge leisten, sofern sie Lernangebote und Impulse enthalten, welche Informationen, Möglichkeiten zur Anschauung und Erfahrung sowie Reflexion optimal verknüpfen. Mittlerweile ist bekannt, dass viele Fehlstrategien und unwissenschaftliche Vorstellungen (EHMER, 2008, S. 19 ff.; GERMANN, ARAM, ODOM & BURKE, 1996) früher als angenommen korrigierend beeinflusst (SCHNEIDER, BULLOCK & SODIAN, 1998) und wissenschaftsmethodische Kompetenzen bereits in der Primarstufe gefördert werden können (CHEN & KLAHR, 1999). Dies erfordert jedoch zahlreiche und kontinuierliche Übungsmöglichkeiten in verschiedenen Kontexten und zielführende didaktisch-methodische Maßnahmen. Hierzu zählen u. a. (a) der Einbezug negativen Wissens – als Abgrenzung zur korrekten Vorgehensweise, z. B. die Thematisierung und Analyse von Fehlstrategien (EHMER, 2008), (b) Strukturierungshilfen zur Entlastung des Arbeitsgedächtnisses bzw. -trainings zur besseren Selbstregulation (FISCHER, 2010), (c) Strategien zur Formulierung epistemischer Fragen und Hypothesen (NEBER & ANTON, 2008), sowie (d) metakognitive prozessbegleitende Anregungen zur Strukturierung und Strategienutzung. Zur Verbesserung von Lehrerhandreichungen können neben konzeptionellen Impulsen auch Erkenntnisse über Kompetenzentwicklungsmodelle sowie Schülervorstellungen und -fehler (HAMMANN, 2004; SCHAUBLE et al., 1991) herangezogen werden.

Schulbücher genießen nach wie vor große Bedeutung – für Lehrkräfte bei der Unterrichtsplanung und -durchführung sowie für Schüler als Lernmedium (BERCK & GRAF, 2010, S. 164; HÄRTIG et al., 2012). Es ist zu prüfen, ob naturwissenschaftliche Schulbücher – in Verbindung mit zugehörigen Lehrerhandreichungen – ihr innovatives Potential hinsichtlich der Weiterentwicklung von kompetenzorientierter Unterrichtskultur vor dem Hintergrund der hier diskutierten Fragen voll entfalten (BEERENWINKEL & TOTTER, 2011).

Angesichts zu Zeiten der Bildungsplanreform bereits vorliegender Erkenntnisse aus Studien sowie Konzepten aus früheren Qualitätsentwicklungsprogrammen wie SINUS wäre das durchaus zu erwarten.



Abb. 2. Schülerinnen forschen an einem Modellexperiment zur Wirkung von Schutzwäldern

Wie AUFDERMAUER und HESSE (2006) im Rahmen ihrer Analyse von Biologie-Schulbüchern herausfanden, spielen fachgemäße Arbeitsweisen in Arbeitsaufträgen zwar eine wichtige Rolle. Der »Förderung von [entsprechenden] Kompetenzen« in Schulbuch-Aufgaben bescheinigen sie insofern eine »sehr gute Bewertung«. Dabei lassen sie jedoch eigenständiges Problemlösen durch Experimentieren als Beurteilungsmaßstab außer Acht. Kriterium war allein, ob Lernende »wichtige Geräte und Messtechniken« kennenlernen und Arbeitsweisen praktizieren sollen (ebd., S. 12).

Dem Kompetenzbegriff von WEINERT (vgl. HAMMANN, 2004) werden kompetenzorientierte Arbeitsaufträge allerdings erst gerecht, wenn sie nicht nur auf reproduktive Leistungen beschränkt sind. Das Maß an Instruktion bzw. der Offenheitsgrad von Experimental-Arbeitsaufträgen wirken sich auf deren Anforderungsniveau aus. METZGER und SOMMER (2010) unterscheiden diesbezüglich drei Haupttypen von experimentellen Arbeitsaufträgen (vgl. auch Anforderungsbereiche der KMK, 2005, S. 16 ff.), deren Verhältnis zueinander im Rahmen der Schulbuchanalyse ermittelt werden sollte (s. 5.3):

- *Nacharbeiten* einer ausführlichen Anweisung;
- *anwendungsorientierte* Arbeitsaufträge mit der Reorganisation von Kenntnissen und Methoden in abgewandelten Situationen;
- *problemlösendes* Experimentieren im Rahmen relativ eigenständigen »Forschens«.

3 Fragen

Inwieweit tragen aktuelle Schulbücher und Lehrerhandreichungen dazu bei, ein adäquates konzeptuelles Verständnis des Experimentierens aufzubauen sowie Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit zu fördern?

- Gehen naturwissenschaftliche Schulbücher korrekt mit dem Begriff »Experiment« um? Wird angemessen zwischen »Versuch« und »Experiment« differenziert? (s. 5.1)
- Wie ist das Verhältnis echter Experimente zu Versuchen? (s. 5.1)
- Welche Rolle spielt bei den echten Experimental-Aufgaben die Hypothesen-Prüfung als wesentlicher Bestandteil der Erkenntnismethode (SCHAUBLE et al., 1991)? (s. 5.2)
- Gibt es unterschiedliche Anforderungsniveaus, die ein optimales Verhältnis von Forderung und Motivation durch Autonomieerleben für verschieden leistungsstarke Lernende beinhalten und z. T. auch anspruchsvollere Problemlösungen erfordern? (s. 5.3)
- Welche Aktivitäten sind dabei selbstständig zu leisten? (s. 5.4)
- Finden sich Informationen über das Experiment(ieren) *per se*? (s. 5.5, 5.7)
- Für welche Kompetenzen *eigenständigen* Experimentierens gibt es Förderangebote bzw. sonstige Impulse? (s. 5.6, 5.7)?

4 Durchführung der Untersuchung

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden im Winter 2010/11 sieben für den Fächerverbund »Naturwissenschaftliches Arbeiten« an Realschulen in Baden-Württemberg zugelassene Schulbücher der Klassenstufen 5 und 6 untersucht. Diese entstammen vier Schulbuchreihen (zwei davon vom selben Verlag). Insgesamt wurden 473 Arbeitsaufträge analysiert. Darüber hinaus wurden Lehrerhandreichungen zu drei der Schulbuchreihen genauer betrachtet.

Weshalb eine Stichprobe aus der Unterstufe? Studien zufolge stellt die Kohorte der 5.- und 6.-Klässler eine optimale Zielgruppe für die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit dar: Das Kausalverständnis ist bereits entwickelt, die Logik »fairen Testens« ist vielen einsichtig, experimentelle Strategien können effektiv gefördert werden (CHEN & KLAHR, 1999; EHMER, 2008). Zudem ist in diesem Alter ein großer qualitativer Sprung in Verständnis und Nutzung der Variablenkontrolle zu beobachten (SCHNEIDER et al., 1998).

Die interessierenden Merkmale in Schulbüchern und Lehrerhandreichungen wurden kriteriengeleitet dichotom bzw. polytom codiert und bestimmten Kategorien bzw. Ausprägungsstufen auf Nominal- bzw. Ordinalskalenniveau zugewiesen. Die Codierleitfäden wurden theoriegeleitet konstruiert und vor der definitiven Codierung mehrfach überarbeitet. Analysiert wurden die Daten mit dem Statistik-Programm IBM SPSS, Version 20.

5 Ergebnisse

5.1 Umgang mit dem Begriff »Experiment«

Es wurden u. a. 322 Arbeitsaufträge analysiert, bei denen eine fachgemäße Arbeitsweise (z. B. »Experiment«, »Versuch« oder »Untersuchung«) konkret erwähnt ist (in Substantiv-, Verb- oder Adverbform) und die entweder richtig als Experiment bezeichnet werden oder in Wirklichkeit ein Experiment darstellen, jedoch anders benannt werden.

Die Begriffsdifferenzierung ist in 227 Fällen angemessen, in 95 nicht korrekt (Abb. 3). Der Aufbau eines adäquaten Konzeptes wird jedoch dort erschwert, wo die Verwendung des Begriffs nicht konsequent praktiziert wird. Angesichts dessen, dass in der untersuchten Stichprobe Versuche ($n = 311$) deutlich häufiger als Experimente ($n = 133$) zu finden sind, wäre es umso bedeutsamer, die Spezifika echter Experimente herauszuarbeiten.

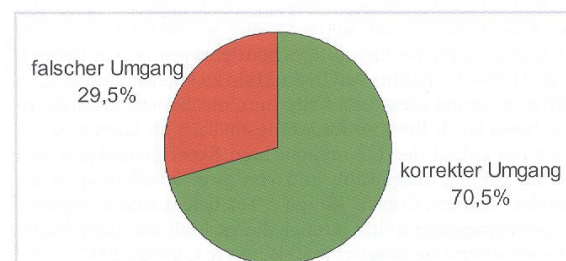


Abb. 3. Korrekter Umgang mit dem Begriff »Experiment« in Arbeitsaufträgen.

5.2 Bedeutung von Hypothesen in praktischen Experimental-Arbeitsaufträgen

Um die Bedeutung von Vermutungen bzw. Hypothesen in den echten Experimenten zu analysieren, wurde ihre Stellung innerhalb von 133 zutreffenden Arbeitsaufträgen untersucht. In mehr als der Hälfte dieser Aufgaben werden Hypothesen überhaupt nicht thematisiert (Abb. 4) – obwohl die Hypothesen-Prüfung ein Hauptcharakteristikum darstellt und insofern einen wichtigen Beitrag zum Begriffsverständnis leisten würde. Lernende üben folglich kaum ein, Bezüge zwischen Theorie und empirischer Evidenz im Rahmen hypothesenprüfender und schlussfolgernder Erkenntnisgewinnung herzustellen. Schüler sollten jedoch das vollständige Denk- und Handlungsmuster

experimenteller Problemlösung kennenlernen und auch selbst praktizieren – einschließlich der präexperimentellen Phase (NEBER & ANTON, 2008). Spielt die Überprüfung von Vermutungen anhand von Evidenz keine Rolle, so besteht die Gefahr, dass Lernende mit Experimenten die Produktion bestimmter Effekte assoziieren (SCHAUBLE & al., 1991) und wichtige Kriterien dieser Erkenntnismethode nicht erfassen. Werden in Arbeitsaufträgen Vermutungen angesprochen, so werden diese in den wenigsten Fällen in der präexperimentellen Phase thematisiert. Die Lernenden sollen dann also erst im Nachhinein Annahmen zu möglichen Ursache-Wirkungsbeziehungen äußern. Ohne weitere experimentelle Überprüfung sind solche *ex post*-Interpretationen erkenntnistheoretisch jedoch wertlos ...

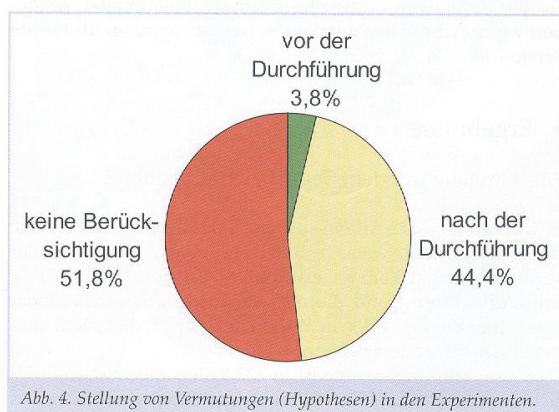


Abb. 4. Stellung von Vermutungen (Hypothesen) in den Experimenten.

5.3 Anforderungsniveau von Experimentalübungen

Auf der Grundlage der Anforderungsbereiche für den Kompetenzbereich »Erkenntnisgewinnung« (KMK, 2005, S. 16 f.) und der Klassifizierung von METZGER und SOMMER (2010) wurde ein ordinalskaliertes fünfstufiges Beurteilungsraster entworfen (Tab. 1). Das Verhältnis von Instruktion zu eigenständiger kognitiver Leistung diente als Kriterium, um Experimentalübungen hinsichtlich ihres Anforderungsniveaus zu klassifizieren. Etwa ein Drittel der 133 untersuchten Experimentalaufgaben wurde zufällig ausgewählt und von zwei unabhängigen Beurteilern codiert. Cohens Kappa = 0.62 belegt eine akzeptable Auswertungsobjektivität, zumal dieses Maß die tatsächliche Übereinstimmung unterschätzt (WIRTZ & CASPAR, 2002, S. 59). Die Anforderung eines Großteils der untersuchten Arbeitsaufträge besteht lediglich darin, ein Experiment nach Anleitung durchzuführen (Tab. 1) – dies entspricht dem Anforderungsbereich I. Hierbei müssen weder Schritte selbst geplant noch Entscheidungen getroffen oder Sachverhalte und Vorgehensweise reflektiert werden. Selten sollen sich die Lernenden

Teilaktivitäten selbst ausdenken. Den wenigen Anregungen zu eigenständigem, »offenem« Experimentieren gehen in der Regel Aufgaben mit konkreten Anleitungen als Impuls voraus.

5.4 Konkrete Anforderungen an die eigenständige Problemlösefähigkeit

Werden Lernende in Arbeitsaufträgen dazu angehalten, bestimmte experimentelle Aktivitäten eigenständig zu gestalten – also ohne Instruktion? Bis auf die Auswertung von Beobachtungen und Messdaten müssen kaum Kompetenzen *selbstständig* angewandt werden (Tab. 2). In 42 % der Fälle müssen die Schüler zwar eine Vermutung zu einem Ursache-Wirkungszusammenhang äußern. Wie der Befund aus Abschnitt 5.2 (Abb. 4) offenbart, handelt es sich jedoch größtenteils um *ex post*-Ver-

Kompetenz, die eigenständig anzuwenden ist	Relative Häufigkeit (%)
Formulierung eigener Fragen	1
Identifikation unabhängiger Variablen	15
Aufstellen von Hypothesen	42
Planung des Aufbaus/der Apparatur	4
Auswahl von Geräten/Materialien	4
Planung von Ansätzen (Kontrollansatz, Variablenkontrolle)	2
Datenerhebung planen	0
Art der Datendarstellung überlegen	2
Auswertung der Daten (nach Anweisung)	99
Initiative, Hypothesen zu prüfen	0
Revision von Hypothesen	0
Reflexion zu Fehlerquellen	1
Beurteilung der Grenzen der Aussagekraft	0
Wahl des Stichprobenumfangs/ Beobachtungszeitraums	0
Entwurf eines Protokolls	6
In einer alltagsnahen Entscheidungssituation anhand der Experimentergebnisse urteilen/entscheiden	0
Reflexion der Vorgehensweise in einem Experiment	0

Tab. 2. Eigenständigkeit bei der Nutzung von Kompetenzen beim Experimentieren

Niveau	Beschreibung der Anforderung	Relative Häufigkeit (%)
I	Vorgegebene ausführliche Anleitung befolgen	91
II	Vorgegebene Anleitung befolgen und reflektieren	1
III	Vorgegebene Anleitung befolgen und einzelne Aspekte (Schritte, Ansätze oder Apparatur) ergänzen	6
IV	Anleitung befolgen, einzelne Aspekte (s. o.) ergänzen und reflektieren	0
V	Weitgehend eigenständiges Experimentieren	2

Tab. 1. Realisiertes Anforderungsniveau der echten Experimente.

mutungen. Anspruchsvollere metakognitive und strategische Fähigkeiten spielen in den Arbeitsaufträgen kaum eine Rolle. Die genauen Instruktionen schränken Phasen eigenständigen Planens, problemlösenden Tüftelns und Reflektierens stark ein. Die Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit bedarf aber gerade auch solcher Lerngelegenheiten (GERMANN et al., 1996). Überdies wird u. a. der Bildungsstandard, die Aussagekraft konkreter Experimente zu beurteilen (KMK, 2005), nicht berücksichtigt.

5.5 Aufbau deklarativen Wissens zum Experimentieren

Da aus manchen Schulbuchreihen zwei Bücher (5. und 6. Klassenstufe), aus einer anderen jedoch ein Sammelband für beide Klassenstufen untersucht wurden, mussten für eine aussagekräftige Analyse dieses Aspekts die auf die 5. und 6. Klasse bezogenen Daten berücksichtigt werden. Die Daten in Tabelle 3 beziehen sich also stets global auf 5. und 6. Klassenstufe einer Schulbuchreihe.

Über das Konzept des Experimentierens per se wird in den Schulbuchreihen kaum informiert (Tab. 3, Spalte A). Strategien und metakognitive Fähigkeiten, die sich auf die Planung, Durchführung und Beurteilung methodologisch korrekter Experimente beziehen, werden nirgends angesprochen. Dass die Bedeutung der Daten-Auswertung im deutschen Naturwissenschaftsunterricht thematisiert wird, beobachteten auch

PRENZEL et al. (2007). V. a. solche Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kenntnisse werden thematisiert, die naturwissenschaftliche Praktika allgemein betreffen, das Experiment als Denk- und Arbeitsweisen jedoch nicht speziell charakterisieren: Geräte, Protokoll, Sicherheit beim Arbeiten. Ein Bewusstsein für Aspekte, die die Güte und Aussagekraft besonders von biologischen Experimenten betreffen (z. B. Stichprobenumfang und Beobachtungsdauer; RÖSCH et al., 2012) wird nicht explizit unterstützt.

5.6 Explizite Förderung prozessbezogener Kompetenzen

Hinweise und konkrete Fördermöglichkeiten betreffen hauptsächlich praktische Tätigkeiten, Datendarstellung und -auswertung (Tab. 3, Spalte B). Für experimentelle Strategien, prozessbezogene wissenschaftsmethodische Fähigkeiten (MAYER, 2007; NEBER & ANTON, 2008) sowie konzeptuelles Verständnis und weitere wissenschaftstheoretische Aspekte stehen (nahezu) keine Förderangebote zur Verfügung.

5.7 Informationen, Hinweise und Impulse in Lehrerhandreichungen

Lediglich in der Handreichung einer Schulbuchreihe wurde über die Erkenntnismethode des Experimentierens, über Kri-

Aspekt	Relative Häufigkeit (%)		
	A Sachinformation (Schülerbuch)	B Förderangebot (Schülerbuch)	C Infos & Impulse (L.handreichung)
Experiment: wissenschaftstheoretisches Verständnis	25	0	0
Fragen: Bedeutung bzw. Formulierung	0	0	0
(manipulierbare) Variablen: Identifikation	0	0	0
Hypothesen: Bedeutung/Formulierung	0	25	33
Aufbau von Apparaturen	50	0	33
Geräte: Bezeichnung/Fachbegriffe	75	100	67
Geräte: Auswahl und Bedienung	100	100	67
Messfehler	0	25	0
Daten: Erhebung	25	50	67
Daten: Darstellung	50	75	67
Daten: Auswertung/Interpretation	75	100	67
Hypothesen: Prüfung	0	0	0
Hypothesen: Revision	0	0	0
Reflexion	0	0	33
Sicherheit beim Experimentieren	100	100	67
Grenzen der Aussagekraft	0	0	0
Stichprobenumfang	0	0	0
Bedeutung der Beobachtungsdauer	0	25	0
Protokoll	100	100	33
Kontrollansatz	0	0	0
Variablenkontrolle	0	0	0

Tab. 3. Berücksichtigung experimenteller Aspekte in Schulbüchern und Lehrerhandreichungen.

terien sowie wissenschaftstheoretische und -methodische Aspekte informiert.

Nur in der Handreichung einer Schulbuchreihe wird auf didaktische Funktionen und methodische Aspekte des Experimentierens eingegangen.

In Spalte C (Tab. 3) sind die relativen Häufigkeiten von Aspekten beim Experimentieren festgehalten, für die konkrete Förderhinweise gegeben werden. Das Konzept des Experimentierens, die Generierung von Fragen und die Hypothesen-Prüfung werden dabei ebenso vernachlässigt wie diejenigen Gesichtspunkte, die mit der internen und ökologischen Validität von Experimenten zu tun haben. Hingegen gibt es Hinweise, die mit der Verwendung von Geräten und mit der Erhebung, Darstellung und Auswertung von Daten in Verbindung stehen. Hinweise zur Konstruktion kompetenzorientierter Aufgaben zu(m) Experiment(ier)en oder Möglichkeiten der Binnendifferenzierung sucht man vergebens – dies deckt sich mit den Erkenntnissen aus der Schulbuch-Analyse von AUFDERMAUER und HESSE (2006).

6 Zusammenfassung, Diskussion, Fazit und Ausblick

Die Analyse aktueller Schulbücher für den integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht in der Unterstufe der SEK I bestätigt zwar, dass viele Aufgaben schüler- und handlungsorientiert ausgerichtet sind (AUFDERMAUER und HESSE, 2006) und neben anderen fachgemäßen Denk- und Arbeitsweisen auch Schülerexperimente beinhalten. Impulse aus der fachdidaktischen Forschung von vor der Bildungsplanreform 2004 wurden jedoch kaum berücksichtigt. Zahlreiche innovative Erkenntnisse der letzten Jahre zur Förderung eigenständigen Experimentierens konnten noch nicht einfließen. Hauptsächlich finden sich kochrezeptartige Anweisungen für Schülerexperimente. Anspruchsvollere wissenschaftsmethodische und -theoretische Kompetenzen spielen in Schulbüchern und Lehrerhandreichungen nur eine geringe Rolle. Dies betrifft (a) die Anforderungen von Arbeitsaufträgen, (b) Informationen über die Erkenntnismethode »Experiment«, (c) konkrete Förderangebote und Lernmöglichkeiten sowie (d) didaktisch-methodische Impulse. Das »Innovationspotential« (BEERENWINKEL & TOTTER, 2011) der untersuchten Printmedien wurde insofern nicht angemessen ausgeschöpft.

Die Aussagekraft der vorliegenden Analyse von Schulbüchern und Lehrerhandreichungen ist begrenzt: Es wurden lediglich einzelne Aspekte untersucht und sehr spezielle Fragestellungen beantwortet. Die Stichprobe ist sowohl hinsichtlich der Anzahl der Schulbuchreihen als auch der bundeslandspezifischen Regionalausgaben relativ klein. Auch wurden keine Medien aus höheren Klassenstufen oder aus anderen Schularten untersucht. Gleichwohl lässt sich eine gewisse ernüchternde Tendenz erkennen.

Die Vielzahl neuer Erkenntnisse der letzten Jahre über didaktisch-methodische Möglichkeiten der Förderung (u. a. CHEN & KLAHR, 1999; EHMER, 2008; FISCHER, 2010; RÖSCH, 2012) bzw. der Diagnostik von Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit (u. a. EHMER, 2008; GERMANN et al., 1996; MAYER, GRUBE & MÖLLER, 2008) sowie bewährte Impulse zur Konstruktion von Lernaufgaben stellen eine große Chance für die Optimierung der neuen Schulbücher und Lehrerhandreichungen dar. Schulbucheinführende Fortbildungen mit Input-, Praxis- und Reflexionsphasen könnten die Umsetzung neuer fachdidaktischer und methodischer Konzeptionen unterstützen (BEERENWINKEL & TOTTER, 2011).

Der lange Zeitraum zwischen Neuauflagen bzw. Neuanschaffungen relativiert die innovative Wirkung, Flexibilität und Aktualität von Schulbüchern und Lehrerhandreichungen beträchtlich (HÄRTIG et al., 2012). Zeitgemäße fachdidaktische Impulse können daher v. a. auf anderen Wegen in Kollegien und den Naturwissenschaftsunterricht gelangen:

Aktualisierbare Online-Download-Angebote, aber auch computerbasierte Medien zur Einübung experimenteller Strategien oder zur Simulation komplexer Experimente könnten Schulbücher und Lehrerhandreichungen sinnvoll ergänzen. Angesichts der eher spärlichen Beachtung von Fachzeitschriften (ebd.) würden Fortbildungen, das Coaching schulischer Innovationsprozesse durch Fachberater sowie ein optimierter Online-Support auf Bildungsservern (z. B. zu neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen, konkreten unterrichtlichen Umsetzungsbeispielen oder Niveaunkonkretisierungen) eine kompetenzorientierte Unterrichtsentwicklung begünstigen. Ohne Zweifel stellt die Innovationsbereitschaft in den MINT-Fachschaften der Schulen dafür die wichtigste Voraussetzung dar.

Herzlicher Dank gilt Realschullehrerin NORA RESSEL für die Mitarbeit bei der Datenerhebung und Codierung. Die Durchführung der Studie wurde durch finanzielle Mittel der Forschungsförderung an der Pädagogischen Hochschule Freiburg unterstützt.

Literatur

- AUFDERMAUER, A. & HESSE, M. (2006). Eine Analyse von Biologie-Schulbüchern – unter besonderer Berücksichtigung des Experimentierens mit Pflanzen. *Berichte des Institutes für Didaktik der Biologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, IDB* (15), 1–32.
- BEERENWINKEL, A. & TOTTER, A. (2011). Schulbücher als Innovationsträger. Fortbildungen als eine Möglichkeit zur Verbesserung des Innovationspotentials von Schulbüchern im MINT-Unterricht. *MNU* 64(8), 492–496.
- BERCK, K.-H. & GRAF, D. (2010). *Biologiedidaktik. Grundlagen und Methoden*. Wiebelsheim: Quelle & Meyer.
- CHEN, Z. & KLAHR, D. (1999). All Other Things Being Equal: Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy. *Child Development*, 70(5), 1098–1120.
- EHMER, M. (2008). *Förderung von kognitiven Fähigkeiten beim Experimentieren im Biologieunterricht der 6. Klasse: Eine Untersuchung zur Wirksamkeit von methodischem, epistemologischem und negativem Wissen*. Universität Kiel. www.ipn.uni-kiel.de/labt_biol_ag_promotionen.html (04.10.2011)
- FISCHER, C. (2010). Inquiry Boards. Eine Planungshilfe zur Förderung der Experimentierkompetenz. *MNU* 63(7), 422–428.
- GERMANN, P. J., ARAM, R., ODOM, A. L. & BURKE, G. (1996). Student performance on asking questions, identifying variables, and formulating hypotheses. *School Science and Mathematics*, 4 (Apr. 1996), 192–201.
- HÄRTIG, H., KAUERTZ, A. & FISCHER, H. E. (2012). Das Schulbuch im Physikunterricht. Nutzung von Schulbüchern zur Unterrichtsvorbereitung in Physik. *MNU*, 65(4), 197–200.
- HAMMANN, M. (2004). Kompetenzentwicklungsmodelle. Merkmale und ihre Bedeutung – dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. *MNU*, 57(4), 196–203.

- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (Hg.). (2005): *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*. München, Neuwied: Luchterhand/Wolters Kluwer.
- LETHMATE, J. (2003). Sind »geographische Experimente« Experimente? *Praxis Geographie* (3), 42–43.
- LUNETTA, V. N., HOFSTEIN, A. & CLOUGH, M. P. (2007). Learning and teaching in the school science laboratory: An analysis of research, theory, and practice. In: S. ABELL – K. N. H. LEDERMAN (Eds.): *Handbook of research on science education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- MAYER, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In: D. KRÜGER & H. VOGT (Hrsg.), *Theorien in der biologiepädagogischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudienten und Doktoranden*. Berlin, Heidelberg: Springer, 177–186.
- MAYER, J., GRUBE, C. & MÖLLER, A. (2008). Kompetenzmodell naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. In: U. HARMS & A. SANDMANN (Hg.): *Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBiO, Essen 2007*. Innsbruck: StudienVerlag, 63–79.
- METZGER, S. & SOMMER, K. (2010). »Kochrezept« oder experimentelle Methode? Eine Standortbestimmung von Schülerexperimenten unter dem Gesichtspunkt der Erkenntnisgewinnung. *MNU*, 63(1), 4–11.
- NEBER, H. & ANTON, M. A. (2008). Förderung präexperimenteller epistemischer Aktivitäten im Chemieunterricht. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*, 22(2), 143–150.
- PRENZEL, M., ARTELT, C., BAUMERT, J., BLUM, W., HAMMANN, M., KLIEME, E. & PEKRUN, R. (Hg.). (2007), *PISA 2006. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie. Zusammenfassung*. http://pisa.ipn.uni-kiel.de/zusammenfassung_PISA2006.pdf (29.08.2012).
- RÖSCH, F. (2012). »Forschen wir heute wieder?!« Ein Unterrichtsvorschlag für die Klassenstufen 3 und 4 zur Förderung des Wissenschaftsverständnisses anhand von Experimenten. *Sache – Wort – Zahl*, 40(2, H. 124), 12–26.
- RÖSCH, F., RIESS, W. & NERB, J. (2012). Förderung »experimenteller Problemlösefähigkeit« im problemorientierten Ökologieunterricht der 6. Klassenstufe? In: W. RIESS, M. WIRTZ, A. SCHULZ & B. BARZEL (Hg.): *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 183–198). Münster: Waxmann.
- SCHAUBLE, L., KLOPFER, L. E. & RAGHAVAN, K. (1991). Students' Transition from an Engineering Model to a Science Model of Experimentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 859–882.
- SCHNEIDER, W., BULLOCK, M. & SODIAN, B. (1998). Die Entwicklung des Denkens und der Intelligenzunterschiede zwischen Kindern. In: F. E. WEINERT (Hg.): *Entwicklung im Kindesalter*. Weinheim: Beltz PVU, 53–74.
- WIRTZ, M. & CASPAR, F. (2002). *Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität. Methoden zur Bestimmung und Verbesserung der Zuverlässigkeit von Einschätzungen mittels Kategoriensystemen und Ratingskalen*. Göttingen: Hogrefe.
- FRANK RÖSCH arbeitet als Akademischer Rat in der Abteilung Biologie am Institut für Naturwissenschaften und Technik der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg. Nach dem Studium und mehrjähriger Lehrtätigkeit forschte er im Rahmen des Promotionskollegs e*MNU (»Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht«) an der Pädagogischen Hochschule Freiburg zur Förderung und Diagnostik experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung. Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, Abteilung Biologie und ihre Didaktik, Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg, roesch@ph-ludwigsburg.de ■

9.1.2 Datenerhebungsbögen

9.1.2.1 Erfassungsbogen für ein Schulbuch

- (1.) Buch-Code (Nr.): _____
- (2.) Titel (ausführlich):

- Bd.-Nr.: _____
- (3.) Personen: ____ (1: Herausgeber, 2: Autoren) erste drei – et al.?:

- (4.) Erscheinungsjahr (Jahr der Ersterscheinung dieser Auflage): _____
- (5.) Auflage / Druck: _____
- (6.) Erscheinungsort: Verlag: _____: _____
- (7.) Schularart: ____ (1: HS (MNT); 2: RS (NwA); 3: GYM (NPh); 4: GYM (Bio))
- (8.) Klassenstufe(n): ____ (1: Kl. 5; 2: Kl. 5 + 6; 3: Kl. 6; 4: Kl. 5 – 7)
- (9.) Bundesland-Zulassung: ____ (1: B.-W. spez.; 2: and. spez.; 3: allgemein)
- (10.) Methoden-Seiten zur allgemeinen Einführung (bloße Information, noch keine Förderung): „**Was?**“, „**Warum?**“ „**Wann?**“ **etc.**
- ____ a: Experiment allgemein (Hypothetisch-deduktives Verfahren)
 - ____ b: Fragen stellen
 - ____ c: Manipulierbare Variablen identifizieren
 - ____ d: Hypothesen formulieren
 - ____ e: Aufbau
 - ____ f: Geräte (Benennung)
 - ____ g: Geräte (Auswahl / Bedienung)
 - ____ h: Messfehler
 - ____ i: Daten erheben
 - ____ j: Daten darstellen
 - ____ k: Daten auswerten / interpretieren
 - ____ l: Hypothesen prüfen (Falsifizierung / Verifizierung)
 - ____ m: Revision / Verwerfen der Hypothese
 - ____ n: Reflexion
 - ____ o: Sicherheit / Gefahren beim Experimentieren
 - ____ p: Grenzen der Aussagekraft
 - ____ q: Stichprobenumfang
 - ____ r: Protokoll
 - ____ s: Kontrollansatz (hierzu können auch strateg. Fehler gehören)
 - ____ t: Variablenkontrolle (hierzu können auch strateg. Fehler gehören)

(11.) Konkrete Maßnahmen zur Schulung / Förderung prozeduraler Kompetenzen:
„Wie mache ich das (besser)?“

- ____ a: Experiment allgemein (Hypothetisch-deduktives Verfahren)
- ____ b: Fragen stellen
- ____ c: Manipulierbare Variablen identifizieren
- ____ d: Hypothesen formulieren
- ____ e: Aufbau
- ____ f: Geräte (Bezeichnungen)
- ____ g: Geräte (Auswahl / Bedienung)
- ____ h: Messfehler
- ____ i: Daten erheben
- ____ j: Daten darstellen
- ____ k: Daten auswerten / interpretieren
- ____ l: Hypothesen prüfen (Falsif. / Verifiz.), Schlussfolgerungen ziehen
- ____ m: Revision / Verwerfen der Hypothese
- ____ n: Reflexion
- ____ o: Sicherheit / Gefahren beim Experimentieren
- ____ p: Grenzen der Aussagekraft
- ____ q: Stichprobenumfang
- ____ r: Langzeitbeobachtung
- ____ s: Protokoll
- ____ t: Kontrollansatz
- ____ u: Variablenkontrolle
- ____ v: Strategische Fehler (z. B. Variablen-Kontrolle, Kontroll-Ansätze, fehlender Bezug Theorie – Evidenz, Voreingenommenheit, ...)

Frank Rösch, 01.12.2010

9.1.2.2 Erfassungsbogen für eine Lehrerhandreichung

(1.) Zum Buch-Code (Nr.): _____

(2.) Titel Lehrerhandreichung (ausführlich):

Bd.-Nr.: _____

(3.) Personen: ____ (1: Herausgeber, 2: Autoren) erste drei – et al.?:

(4.) Erscheinungsjahr (Jahr der Ersterscheinung dieser Auflage): _____

(5.) Auflage / Druck: _____

(6.) Erscheinungsort: Verlag: _____: _____

(7.) Schulart / Fach: ____ (1: HS (MNT); 2: RS (NwA); 3: GYM (NPh); 4: GYM (Bio))

(8.) Klassenstufe(n): ____ (1: Kl. 5; 2: Kl. 5 + 6; 3: Kl. 6; 4: Kl. 5 – 7)

(9.) Bundesland-Zulassung: ____ (1: B.-W. spez.; 2: and. spez.; 3: allgemein)

(10.) Allgemeine Einführung des Konzepts „Experiment“: ____ (1: Ja; 0: Nein)

(11.) Informationen zu didaktischen Funktionen des Experiments:

____ (1: Ja; 0: Nein)

(12.) Hinweise zu Binnendifferenzierung beim Experimentieren
(Offenheit / Schwierigkeitsstufen / ...): _____ (1: Ja; 0: Nein)

(13.) Konkrete Vorschläge zur Förderung prozeduraler Kompetenzen: „Wie kann man diese Kompetenzen verbessern?“

- ____ a: Experiment allgemein (Hypothetisch-deduktives Verfahren)
- ____ b: Fragen stellen
- ____ c: Manipulierbare Variablen identifizieren
- ____ d: Hypothesen formulieren
- ____ e: Aufbau
- ____ f: Geräte (Bezeichnungen)
- ____ g: Geräte (Auswahl / Bedienung)
- ____ g: Messfehler
- ____ h: Daten erheben
- ____ i: Daten darstellen
- ____ j: Daten auswerten / interpretieren
- ____ k: Hypothesen prüfen (Falsif. / Verifiz.), Schlussfolgerungen ziehen
- ____ l: Revision / Verwerfen der Hypothese
- ____ m: Reflexion
- ____ n: Sicherheit / Gefahren beim Experimentieren
- ____ p: Grenzen der Aussagekraft
- ____ q: Stichprobenumfang
- ____ r: Langzeitbeobachtung
- ____ s: Protokoll
- ____ t: Kontrollansatz
- ____ u: Variablenkontrolle
- ____ v: Strategische Fehler (z. B. Variablen-Kontrolle, Kontroll-Ansätze, fehlender Bezug Theorie – Evidenz, Voreingenommenheit, ...)

(14.) Zusätzl. Lehrerdemonstrationsexperimente: ____ (1: Ja; 0: Nein)

Frank Rösch, 01.12.2010

9.1.2.3 Erfassungsbogen zur Kodierung für einzelne Experimente / Versuche

(1.) Element-Code (Nr.): _____

(2.) Buch-Code (Nr.): _____

(3.) Seitenangabe: _____

(4.) Nummerierung auf dieser Seite: _____

(5.) Bezeichnung im Buch: _____ (1: „Exp.“; 2: „Vers.“; 3: „Unters.“; 4: Sonst.; 5: Keine Angabe)
Die Bezeichnung könnte in der Überschrift oder im Arbeitsauftrag oder in der Layoutgestaltung verborgen sein – bitte suchen!

(6.) Tatsächliche Art: _____ (1: Experiment; 2: Versuch; 3: Untersuchung; 4: Sonstiges)
Experiment: Es gibt eine Variation der interessierenden unabhängigen Variablen – z. B. Streichholz an verschiedene Stellen der Flamme halten. (>> Kontrollansatz / Vergleichsmöglichkeiten eingebaut)
Versuch: Keine Variation der Ausprägung, nur eine Vorgehensweise

(7.) Bezeichnung im Buch korrekt? _____ (1: Ja; 0: Nein; 2: Beurteilung nicht möglich)

(8.) Thema / Domäne: _____

1: Ökologie	2: Zoologie	3: Botanik	4: Humanbiologie
5: Elektrostat. / Elektr.	6: Magnetismus	7: Optik / Akustik	8: Bewegung
9: Mikro- / Makrokosm.	10: Stoffe / Trennverf.	11: Luft	12: Wasser
13: Rohstoff > Produkt	14: Temperatur	15: Sonstige	

„Ökologie“: Umwelteigenschaften und -beziehungen (Lebensraum) – wenn diese im Vordergrund stehen, wird nicht „Botanik“ oder „Zoologie“ angegeben

„Bewegung“: Verknüpfung: Bewegung bei Lebewesen und in der Technik >> z. B. Vogelflug und Papierflieger gehören zum Thema „Bewegung“, nicht zu „Zoologie“ – bitte auf übergeordnetes Kapitelthema achten

(9.) Hypothesen (Ursache – Wirkung) im Rahmen des Experiments: _____

1: Schon zu Beginn thematisiert (i. S. einer späteren Prüfung)
2: Erst nach Beobachtung
0: Gar keine

Diese Angabe bezieht sich darauf (Code 1 und 2), ob/wenn Hypothesen (Vermutungen / Annahmen) explizit angesprochen werden – wenn man sie laut Arbeitsauftrag/Aufgabenstellung nicht tätigen muss, wird Code 0 vergeben

(10.) Tätigkeit(en) im Arbeitsauftrag:

Hier wird Code 1 NUR dann vergeben, wenn die Aufgabenstellung dies explizit verlangt. Z. B.: „c“: „Was vermutest du?“ Entsprechend bei den anderen Aspekten!

„Manipulierbare Variablen identifizieren“: bekommt nur dann Code 1, wenn die SuS selbst überlegen müssen, was man ändern könnte / müsste

- _____ a: (Eigene) Frage(n) stellen
- _____ b: Manipulierbare (unabhängige) Variablen identifizieren
- _____ c: Eigene Hypothesen formulieren
- _____ d: Aufbau (Apparat) selbst überlegen
- _____ e: Geräte und Materialien selbst wählen

- ___ f: Planung eines Experiments: Ansätze (mit Kontrollansatz und Variablenkontrolle)
- ___ g: Datenerhebung selbst überlegen
- ___ h: Datendarstellung selbst überlegen
- ___ i: Daten selbst auswerten / interpretieren
- ___ j: Hypothesen prüfen (Falsif. / Verif.), Schlussfolgerungen ziehen
- ___ k: Revision / Verwerfen der Hypothese
- ___ l: Reflexionen zu Fehlerquellen
- ___ m: Grenzen der Aussagekraft bedenken
- ___ n: Eigene Überlegungen zu Stichprobenumfang / Langzeitbeobachtung
- ___ o: Protokoll ohne Vorgaben anfertigen
- ___ p: Ergebnis >> Urteilen / Entscheidung treffen (Problemorientierung)
- ___ q: Reflexion über die Vorgehensweise

(11.) Anregung für eigenes Forschen: ___ (1: Ja; 0: Nein)

Im Arbeitsauftrag steht z. B. „Was könntest Du noch untersuchen?“ / „Überlege Dir eine weitere Untersuchung“ o. ä.

(12.) Situiertheit (Alltagskontext): ___ (1: Ja; 0: Nein)

(13.) Unterrichtsphase / Funktion(en) im Lehr-Lernprozess: ___

1. **Einstiegsphase** (z. B. Einführungs- / Problemexperiment bzw. -versuch): unbekannter Effekt / Wissenslücke >> Problemstellung: Was ist geschehen (Effekt)? Warum könnte das so sein?
2. **Erarbeitungsphase** (z. B. klärendes / entdeckendes Experiment bzw. Versuch): Lösung aufgeworfener Fragen >> zuvor werden Fragen aufgeworfen und Hypothesen formuliert – diese gilt es nun zu überprüfen
3. **Ergebnissicherung- / Vertiefungsphase** (z. B. Anwendungs-/Kontroll-/bestätigendes/Übungs-/Wiederholungsexperiment bzw. Versuch): Bestätigen geläufigen Sachverhalt, bekräftigen schon vorhandene Erkenntnis; Ergebnis meist schon bekannt > nur noch zur Veranschaulichung / Erweiterung bereits bestehenden Wissens

(14.) Anforderungsniveau: ___

- 1: Komplettes „Rezept“ (>> befolgen + beschreiben)
- 2: Komplettes „Rezept“ UND Reflexion (>> befolgen + beschreiben + Reflexion der Vorgehensweise)
- 3: Unvollständiges „Rezept“ (>> befolgen + beschreiben + ergänzen)

Code 3 nur dann, wenn die SuS tatsächlich noch einen Schritt / eine Phase des Experiments selbst ERGÄNZEN müssen. Wenn alle Schritte / Materialien vorgegeben sind, nicht diesen Code vergeben.

- 4: Unvollständiges „Rezept“ UND Reflexion (>> befolgen + beschreiben + ergänzen + Reflexion)
- 5: Impulse für offenes Experimentieren

Nur die praktischen Experimente / Versuche (nicht die nur im Lehrtext beschriebenen)

9.2 Interventionsstudie

9.2.1 Einzelbeiträge mit dem Schwerpunkt auf der Förderung

9.2.1.1 Einzelbeitrag: Rösch, Rieß und Nerb (2012)

DIGITALER SONDERDRUCK

Frank Rösch, Werner Rieß und Josef Nerb

Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ im problemorientierten Ökologieunterricht der 6. Klassenstufe? – Teilprojekt 2

Werner Rieß, Markus A. Wirtz,
Bärbel Barzel, Andreas Schulz
(Hrsg.)

**Experimentieren
im mathematisch-
naturwissenschaftlichen
Unterricht**
Schüler lernen
wissenschaftlich denken
und arbeiten

2012, 414 Seiten, br., 49,90 €,
ISBN 978-3-8309-2687-0

E-Book: 44,99 €,
ISBN 978-3-8309-7687-5



© Waxmann Verlag GmbH, 2012



WAXMANN

Steinfurter Str. 555
48159 Münster

Fon 02 51 – 2 65 04-0
Fax 02 51 – 2 65 04-26

info@waxmann.com
order@waxmann.com

www.waxmann.com
Mehr zum Buch [hier](#).

Inhalt

Einleitung	7
<i>Andreas Schulz, Markus Wirtz und Erich Starauschek</i>	
1. Das Experiment in den Naturwissenschaften	15
<i>Andreas Schulz und Markus Wirtz</i>	
2. Analyse kausaler Zusammenhänge als Ziel des Experimentierens	39
<i>Markus Wirtz und Andreas Schulz</i>	
3. Modellbasierter Einsatz von Experimenten	57
<i>Timo Leuders und Kathleen Philipp</i>	
4. Experimentelles Arbeiten in der Mathematik – ein Brückenschlag zur Naturwissenschaft mit Blick auf Peirce, Pólya und Medawar	75
<i>Nicolas Robin</i>	
5. Elemente aus der Geschichte der experimentellen Praxis in den Naturwissenschaften (17.–19. Jahrhundert)	89
<i>Bärbel Barzel, Bernd Reinhoffer und Marcus Schrenk</i>	
6. Das Experimentieren im Unterricht	103
<i>Werner Rieß und Nicolas Robin</i>	
7. Befunde aus der empirischen Forschung zum Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht	129
<i>Werner Rieß</i>	
8. Ein (fachdidaktisches) Rahmenmodell zum Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht	153
<i>Eberhard Hummel und Christoph Randler</i>	
9. Verhaltensexperimente mit lebenden Tieren im Unterricht – Einfluss auf Experimentierkompetenz und motivationale Variablen – Teilprojekt 1	165
<i>Frank Rösch, Werner Rieß und Josef Nerb</i>	
10. Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ im problem- orientierten Ökologieunterricht der 6. Klassenstufe? – Teilprojekt 2	183
<i>Tanja Steigert und Marcus Schrenk</i>	
11. Fördert eigenständiges Experimentieren die Entwicklung wissenschafts- naher Vorstellungen zum Pflanzenstoffwechsel? – Teilprojekt 3	199
<i>Silia Fürniss und Jens Friedrich</i>	
12. Wirkung von an Spielfilmen verankerten Unterrichtskonzeptionen für den Chemieunterricht auf die Motivation und den Lernerfolg – Teilprojekt 4	213

<i>Daniela Fanta, Leena Bröll und Marco Oetken</i>	
13. Schülervorstellungen im Chemieunterricht – Untersuchung der Wirkung einer direkten Konfrontation mit Schülervorstellungen auf den Lernprozess – Teilprojekt 5	231
<i>Angelika Wolf, Matthias Laukenmann und Markus Wirtz</i>	
14. Eigenständigkeit, Motivation und Lernerfolg im Physikunterricht – Ergebnisse einer Mehrebenenanalyse – Teilprojekt 6	247
<i>Sandra Ganter und Bärbel Barzel</i>	
15. Experimentell zum Funktionalen Denken: Eine empirische Untersuchung zur Wirkung von Schülerexperimenten als Ausgangspunkt mathematischer Begriffsbildung – Teilprojekt 7	265
<i>Kathleen Philipp und Timo Leuders</i>	
16. Innermathematisches Experimentieren – empiriegestützte Entwicklung eines Kompetenzmodells und Evaluation eines Förderkonzepts – Teilprojekt 8	285
<i>Pia Altenburger, Erich Starauschek und Markus Wirtz</i>	
17. Beeinflusst der Sachunterricht der Primarstufe den physikalischen Wissenserwerb von Schülerinnen und Schülern? – Teilprojekt 9	301
<i>Simone Halder und Bernd Reinhoffer</i>	
18. Sichtweisen von Lehrpersonen auf Lehrer-Schüler-Gespräche beim Experimentieren im naturwissenschaftlichen Sachunterricht – Teilprojekt 10	319
<i>Andreas Schulz, Enrico Prinz und Markus Wirtz</i>	
19. „Schüler planen Experimente und testen Hypothesen – Diagnose von Experimentierkompetenzen und mehrebenenanalytischer Klassenstufen- und Schulartenvergleich“ – Teilprojekt 11	333
<i>Werner Rieß, Markus Wirtz, Andreas Schulz und Bärbel Barzel</i>	
20. Integration der theoretischen und empirischen Befunde zum Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht	353
<i>Markus Wirtz und Andreas Schulz</i>	
21. Sicherstellung forschungsmethodischer Qualität im Promotionskolleg e ^m MNU	365
Literatur	377
Autorinnen und Autoren	410

10. Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ im problemorientierten Ökologieunterricht der 6. Klassenstufe? – Teilprojekt 2

Zusammenfassung

In dieser Studie wurde untersucht, ob ein moderat-konstruktivistisch, problemorientiert und recht anspruchsvoll gestalteter Ökologieunterricht mit instruktionalen Anteilen und Phasen offenen Experimentierens den Aufbau kognitiver prozessbezogener Komponenten „experimenteller Problemlösefähigkeit“ besser fördert als unspezifischer Unterricht. Analysiert wurde auch, ob domänenspezifisches Wissen für die Kompetenzentwicklung im ökologischen Kontext eine Rolle spielt. In einer quasiexperimentellen Interventionsstudie mit Pretest-Posttest-Kontrollgruppen-Design wurde hierzu ein schriftlicher Leistungstest eingesetzt. Die Treatmentgruppe erhielt Unterricht zum „Ökosystem Wald“ im Sinn einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. Diese Lernumgebung sollte die Schüler unterstützen, ökologisches Wissen sowie wissenschaftstheoretische und -methodische Kompetenzen weiterzuentwickeln. Sie umfasste 13 Stunden und zwei Tage an einem Naturschutzzentrum. Zum Vergleich wurden Gruppen mit unspezifischem Unterricht zum „Ökosystem Wald“ bzw. mit unspezifischem Unterricht im Fächerverbund „Naturwissenschaftliches Arbeiten“ zu anderen Themen herangezogen. An der Hauptstudie beteiligten sich 461 Schüler der 6. Klassenstufe an Realschulen. Es zeigte sich, dass spezifische Komponenten der „experimentellen Problemlösefähigkeit“ durch das Treatment stärker als in den Vergleichsgruppen gefördert wurden. Geschlechtsspezifische Unterschiede in den Treatment-Wirkungen bedürfen einer weiteren Klärung.

10.1 Einleitung

Experimentieren wird als eine der bedeutendsten naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen zur Erkenntnisgewinnung betrachtet (Anton, Heimann & Rosa, 2005). Es ist daher wesentlicher Gegenstand des Naturwissenschaftsunterrichts. Lange bescheinigten Schulleistungstudien wie TIMSS und PISA deutschen Schülern mittelmäßige Problemlösefähigkeit im Bereich anspruchsvoller naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung (Klieme et al., 2010). Die Förderung von Kompetenzen, welche die eigenständige Planung, Durchführung, Aus- und Bewertung von Experimenten ermöglichen, stellt ein wichtiges Bildungsziel naturwissenschaftlichen Unterrichts dar (Baumert et al., 2001). 2004 wurde durch die Kultusministerkonferenz der Kompetenzbereich „Erkenntnisgewinnung“ eingeführt (vgl. KMK, 2005).

In den aktuell geltenden Bildungsplänen wird deutlich, welche große Bedeutung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ zugeschrieben wird.

Genügt diese bildungspolitische Maßnahme per se, um mit einer bewussten Output-Orientierung und der Benennung entsprechender Bildungsstandards und Kompetenzen eine Optimierung des Naturwissenschaftsunterrichts herbeizuführen? Dies erscheint fraglich, sind überdies doch auch gegenstands- und prozessbezogene Standards erforderlich. Die Erforschung unterrichtlicher Fördermaßnahmen und deren Wirkungen stellt insofern eine wichtige Aufgabe der naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken dar. Seit einiger Zeit werden Erkenntnisse zu Dimensionen und Strukturen sowie zu Möglichkeiten der Erfassung von kognitiven Komponenten „experimenteller Problemlösefähigkeit“ als wichtigen Zielkriterien naturwissenschaftlichen Unterrichts gesammelt (vgl. Rieß, Kapitel 8 in diesem Band). Das Interesse gilt auch Fragen nach dem optimalen Zeitpunkt der Förderung, geeigneten Maßnahmen und der Gestaltung von Lernumgebungen. Noch nicht eindeutig geklärt ist, ob Experimentieren eher isoliert gefördert werden sollte, losgelöst von anspruchsvollen fachwissenschaftlichen Inhalten, oder ob die kontextuelle Einbettung der Kompetenzentwicklung in komplexere Inhalte sogar besondere Chancen für Lernprozesse bietet. Je nach Komplexität des Unterrichts liegen aus früheren Studien hinsichtlich der Wirksamkeit von Treatments widersprüchliche Befunde vor – z.B. beim Vergleich der Befunde von Ehmer (2008) sowie Ganser und Hammann (2009). Auch ist zu untersuchen, ob die angestrebte stärkere unterrichtliche Verzahnung der Kompetenzbereiche „Erkenntnisgewinnung“, „Fachwissen“, „Bewertung“ und „Kommunikation“ sowie eine höhere Problemorientierung in Lernprozessen den Kompetenzerwerb beeinflussen. Die hier vorgestellte Studie versucht zu helfen, Antworten auf diese Fragen zu finden.

10.2 Theoretischer Rahmen

10.2.1 Theorie und Stand der Forschung

In Anlehnung an Klahr (2000) wird Experimentieren in den naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken als ein komplexer Prozess des Problemlösens aufgefasst (Giest, 2008; Hammann, Phan & Bayrhuber, 2007; Mayer, 2007; Stebler et al., 1998; Wirtz & Schulz, Kapitel 4 in diesem Band). Dieser besteht aus zahlreichen Operationen (Germann et al., 1996; Schauble et al., 1991): Für die Beantwortung von Fragen nach Kausalzusammenhängen zwischen Größen müssen u.a. Hypothesen aufgestellt, diese anhand geeigneter Experiment- und Kontrollansätze untersucht und Schlussfolgerungen aus empirischer Evidenz abgeleitet werden.

Der Begriff „experimentelle Problemlösefähigkeit“ umfasst nach Mayer (2007) neben manuell-technischen Fertigkeiten auch kognitive Kompetenzen wissenschaftlichen Denkens (z.B. prozedurale Fähigkeiten und wissenschaftsmethodisches Wissen) sowie metakognitives Verständnis epistemologischer und wissenschafts-

theoretischer Konzepte (Carey et al., 1989; Kremer, Urhahne & Mayer, 2008; Schauble et al., 1991). Auch die Fähigkeit der Selbstregulierung spielt beim planvollen Experimentieren eine wichtige Rolle (Stebler et al., 1998; Wahser, 2007; Wirth et al., 2008).

Bislang wurden verschiedene Kompetenzmodelle postuliert (vgl. Wirtz & Schulz, Kapitel 4 in diesem Band), entwickelt und z.T. empirisch untersucht (Hammann et al., 2007; Hammann et al., 2008; Mayer et al., 2008) und in Interventionsstudien berücksichtigt (Ehmer, 2008; Ganser & Hammann, 2009; Henke, 2007; Wahser, 2007).

Auf Basis dieser Modelle zeigt sich, dass sowohl das Nature-of-Science-(NOS-) Verständnis als auch die Vorgehensweise bei der Planung, Durchführung und Auswertung eigener Experimente bei vielen Menschen unwissenschaftlich und fehlerbehaftet sind (Carey et al., 1989; Ehmer, 2008; Hammann, 2004; Hammann et al., 2006; Kremer et al., 2008; Schauble et al., 1991). Beobachtet werden kann auch, dass sich verschiedene kognitive Komponenten der „experimentellen Problemlösefähigkeit“ im Verlauf des Heranwachsens entwickeln (Hammann, 2004; Mayer et al., 2008; Schneider et al., 1998). Überdies konnte nachgewiesen werden, dass sich kognitive experimentelle Kompetenzen gezielt fördern lassen. Dies ist nicht erst in höheren Klassenstufen (Henke, 2007) möglich. Bereits Grundschüler können z.B. die Prinzipien der Variablenkontrolle und der Hypothesenprüfung nachvollziehen (Chen & Klahr, 1999; Grygier et al., 2008). Daher macht die Überarbeitung früherer curricularer Empfehlungen (vgl. Moisl, 1988) Sinn – Lernende sollten nicht erst in der Mittelstufe weiterführender Schulen im Kompetenzaufbau unterstützt werden.

Schon vor einigen Jahren wurden Konzepte zur unterrichtlichen Förderung kognitiver experimenteller Kompetenzen entwickelt (z.B. Hameyer & Streng, 1986). Nach den ernüchternden Befunden internationaler Schulleistungsvergleichsstudien (Baumert et al., 2001) wurden fachdidaktische Bemühungen in Form großangelegter Projekte intensiviert – z.B. SINUS (LISA, 2003). Im Rahmen von Konzepten wie „Biologie im Kontext“ (Ganser & Hammann, 2009) wird in den letzten Jahren verstärkt versucht, Unterricht problemorientierter zu gestalten und stärker in authentische Alltagssituationen einzubetten (Stebler et al., 1998). Dabei ist auch angedacht, die in den Bildungsplänen verankerten vier Kompetenzbereiche naturwissenschaftlichen Lernens (s.o.) intensiver miteinander zu verbinden (Parchmann, 2009). Allerdings stellen die meisten Interventionsstudien zu Aspekten „experimenteller Problemlösefähigkeit“ weiterhin hauptsächlich die Kompetenzbereiche „Erkenntnisgewinnung“ und „Fachwissen“ in den Mittelpunkt unterrichtlicher Treatments, was deren Komplexität reduziert.

Einige Befunde zur Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ sollen hier exemplarisch erwähnt werden (vgl. Rieß & Robin, Kapitel 8 in diesem Band): Moderat konstruktivistische Unterrichtskonzepte scheinen kognitive und metakognitive Komponenten „experimenteller Problemlösefähigkeit“ effektiver zu fördern als streng konstruktivistischer, entdecken-lassender Unterricht (Chen & Klahr, 1999). Explizite instruktionale Unterstützung beeinträchtigt Transferleistung nicht (Klahr & Nigam, 2004). Eine positive Fehlerkultur, die Einbeziehung

advokatorischen Fehlerlernens und die explizite Thematisierung negativen (= Abgrenzungs-)Wissens können die Kompetenzentwicklung unterstützen (Ehmer, 2008). Feedback mit Fehlerkorrektur sowie Strukturierungstraining in Kombination mit Lehrervorträgen und Strukturierungshilfen helfen, offenes kooperatives Experimentieren zu optimieren (Wahser, 2007). Die Präzisierung von Lernzielen und metakognitive tutorielle Unterstützung – etwa durch „Prompts“ in computerbasierten Lernumgebungen – tragen zur Steigerung des Lernerfolgs bei (Wirth et al., 2008). Zwischen den Merkmalen NOS-Verständnis und wissenschaftliches Denken in Form prozeduraler Fähigkeiten scheinen enge Zusammenhänge zu existieren (Ehmer, 2008; Kremer et al., 2008; Schauble et al., 1991).

Zur Erfassung des facettenreichen Kompetenzbündels „experimentelle Problemlösefähigkeit“ wurde eine Reihe unterschiedlicher Messverfahren entwickelt. Eine hohe Validität weisen Practical-performance-Assessments auf (Germann et al., 1996; Stebler et al., 1998). Dabei werden Lernende bei Realexperimenten samt Vor- und Nachbereitung beobachtet und/oder videographiert sowie kategoriengeleitet beurteilt (Henke, 2007; Klahr & Nigam, 2004; Wahser, 2007). Zuweilen werden auch Endprodukte der Experimente bewertet. Ansatzweise ist eine Simulation experimenteller Prozesse mithilfe von Karten möglich (Hammann et al., 2008). Solche praxisnahen Methoden sind jedoch recht aufwändig und nur bei geringem Stichprobenumfang ökonomisch (Stebler et al., 1998). Prozessbezogene Analysen der Vorgehensweise werden auch anhand computerbasierter Simulations- und Experimentalprogramme eingesetzt (Wirth et al., 2008). Konzeptuelles NOS-Verständnis und verschiedene wissenschaftsmethodische und -strategische Aspekte lassen sich u.a. mit Interviews erfassen (Carey et al., 1989; Klahr & Nigam, 2004). In den meisten Studien wurden aus ökonomischen Gründen schriftliche Instrumente mit unterschiedlichen Itemformaten zur Messung der Ausprägung der NOS-Konzepte (z.B. Ehmer, 2008; Kremer, Urhahne & Mayer, 2008) oder der Performanz strategischer oder prozeduraler Fähigkeiten (z.B. Ehmer, 2008; Germann et al., 1996; Hammann et al., 2007, Hammann et al., 2008; Henke, 2007; Wahser, 2007) eingesetzt.

Während Interventionen häufig in den Kontexten Mechanik (Chen & Klahr, 1999; Hameyer & Strenge, 1986; Klahr & Nigam, 2004; Wirth et al., 2008), Lebensmittelbiochemie (Carey et al., 1989; Ganser & Hammann, 2009; Hameyer & Strenge, 1986), Humanphysiologie (Ehmer, 2008; Stebler et al., 1998) oder Säuren und Basen (u.a. Wahser, 2007) angesiedelt sind, scheinen keine Untersuchungen zu Ökologie-Unterricht vorzuliegen. Dies verwundert nicht, weisen Experimente mit Organismen oder gar in Ökosystemen doch eine besonders hohe Komplexität auf (Moisl, 1988). Hierdurch ergeben sich sowohl Vor- als auch Nachteile für die Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“: Einerseits lassen sich bestimmte NOS-Aspekte sehr anschaulich thematisieren. Andererseits stellen Störgrößen, Umgang mit Organismen sowie Aufwand und Ansprüche ökologischer und ethologischer Experimente große Herausforderungen dar. Im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung (Rieß, 2010) leistet die Förderung experimenteller Kompetenzen im ökologischen Kontext einen Beitrag zur verantwortungsbewussten Teilhabe an

nachhaltigkeitsrelevanten Fragestellungen: Experimente können in dieser Domäne herangezogen werden, um die vier o.g. Kompetenzbereiche miteinander zu verknüpfen.

10.2.2 Fragestellungen und Hypothesen

Verschiedene Sachverhalte, welche die Implementierung von „Vorschlägen“ der empirischen fachdidaktischen Forschung im *konkreten* Unterrichtsalltag betreffen, wurden bislang unzureichend untersucht. Kann man etwa die vier von der Kultusministerkonferenz für den Naturwissenschaftsunterricht festgelegten Kompetenzbereiche „Erkenntnisgewinnung“, „Fachwissen“, „Bewertung“ und „Kommunikation“ (vgl. KMK, 2005) ohne negative Auswirkungen auf den Lernprozess viel stärker miteinander kombinieren, als dies bislang an vielen Schulen bzw. in den meisten Studien realisiert wird? Eine Konzentration auf „Erkenntnisgewinnung“ und „Fachwissen“ findet man ja bereits u.a. bei Chen und Klahr (1999), Ehmer (2008), Ganser und Hammann (2009) sowie Klahr und Nigam (2004) – dabei bleiben andere Bereiche jedoch unberücksichtigt.

Folgende Fragestellungen standen im Mittelpunkt dieser Studie:

1. Fördert ein sehr anspruchsvoll gestaltetes, problemorientiertes und die vier Kompetenzbereiche verknüpfendes Unterrichtskonzept Komponenten „experimenteller Problemlösefähigkeit“?
2. Spielt domänenspezifisches Wissen beim Aufbau der untersuchten experimentellen Kompetenzen eine Rolle?
3. Welcher Zusammenhang besteht zwischen den untersuchten experimentellen Kompetenzen und anderen Leistungsvariablen?
4. Wirkt sich das Treatment – im Vergleich zu unspezifischem Naturwissenschaftsunterricht – auf das Autonomieerleben aus?

Ausgehend von den angeführten Studien lassen sich folgende Hypothesen formulieren:

- H1: Lernende der Treatmentgruppe (vgl. Tabelle 10.1) besitzen in den experimentellen Kompetenzen zum zweiten Messzeitpunkt höhere um die Pretest-Unterschiede bereinigte Mittelwerte als die Versuchspersonen aus den Vergleichsgruppen ohne spezielles Treatment. Es werden kleine bis mittlere Effekte erwartet.
- H2: Domänenspezifisches Wissen spielt lediglich bei der Suche im Hypothesenraum (Merkmal „Identifizierung unabhängiger Variablen“) eine Rolle – schließlich sollen dabei veränderliche Parameter in Ökosystemen angegeben werden –, nicht jedoch bei den anderen untersuchten Kompetenzen.
- H3: Angesichts der in dieser Arbeit realisierten Operationalisierung der Merkmale und der unterschiedlichen Anforderungen der betrachteten Kompetenzen

werden im Sinne diskriminanter Validierung lediglich kleine bis moderate Interkorrelationen untereinander und mit Schulnoten sowie mit allgemeinen kognitiven Fähigkeiten vermutet.

- H4: Die Lernumgebung des Treatments zeichnet sich durch zahlreiche Phasen offenen Experimentierens und kooperativen Lernens im Sinn eines moderaten Konstruktivismus' sowie durch erlebbares kumulatives Lernen aus. Im Hinblick auf die Selbstbestimmungstheorie der Motivation wird vermutet, dass beim subjektiven Autonomieerleben eine positivere Entwicklung als in der Vergleichsgruppe zu beobachten ist.

Tab. 10.1: Experimentalbedingungen (Hauptstudie).

Aspekt	Experimentalbedingung				
	EXP	KG _{Öko}	KG ₀	KG _{Aut.}	
Treatment zur Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“	ja	nein	nein	nein	
Thema „Waldökologie“	ja	ja	nein	Keine Vorgabe	
Teilstichprobenumfang (<i>n</i>)	129	105	106	121	
Alter	<i>M</i>	11.88	11.84	11.87	11.97
	<i>SD</i>	0.58	0.56	0.44	0.45

Anmerkungen.

EXP: Treatmentgruppe mit speziellem Unterrichtskonzept zur Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ im Kontext „Ökosystem Wald“. KG_{Öko}: Kontrollgruppe mit unspezifischem Unterricht zu den gleichen ökologischen Aspekten. KG₀: Kontrollgruppe mit unspezifischem Naturwissenschaftsunterricht zu einem anderen Thema. KG_{Aut.}: Kontrollgruppe mit unspezifischem Naturwissenschaftsunterricht zu beliebigem Thema. *n*: Anzahl der Versuchspersonen Teilstichprobe. *M*: Mittelwert. *SD*: Standardabweichung.

10.3 Empirischer Teil

10.3.1 Methodische Grundlagen

(a) Studiendesign

Die Forschungsfragen wurden anhand einer quasiexperimentellen Interventionsstudie mit Klumpenstichprobe untersucht. Da die Zuweisung der Versuchspersonen zu den Experimentalbedingungen nicht randomisiert erfolgte, ist die interne Validität angesichts möglicher systematischer Stichprobenunterschiede reduziert. Aus der Perspektive der Implementationsforschung ist die Entscheidung für eine Feldstudie aber auch vorteilhaft. Um die ökologische Validität der Studie zu erhöhen, wurde der Unterricht im natürlichen Klassenverband und in der vertrauten Umgebung realisiert.

(b) Stichprobe

Für die Untersuchung dieser Fragestellungen fiel die Wahl bewusst auf die 6. Klassenstufe. Erstens liegt bei den meisten Kindern der Übergang von konkret-operationaler zur formal-operationalen Phase ihrer kognitiven Entwicklung in der Unterstufe. Dieser Prozess scheint eine wichtige Voraussetzung für die Weiterentwicklung kognitiver und metakognitiver experimenteller Kompetenzen zu sein (Hammann, 2004; Schneider et al., 1998). Zweitens berichten verschiedene Autoren von der Wirksamkeit ihrer Interventionen in dieser oder höheren Altersstufen (Carey et al., 1989; Ehmer, 2008; Schauble et al., 1991; Wahser, 2007).

Im Gymnasialbereich wurden bereits zahlreiche Studien durchgeführt. Für diese Untersuchung wurden Realschulen ausgewählt – sie decken tendenziell ein mittleres Leistungsspektrum ab. Im Hinblick auf die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Schularten kann dadurch die externe Validität etwas erhöht werden.

Die Größe der Teilstichproben orientierte sich an der erwarteten Effektgröße, musste aufgrund der begrenzten Teilnahmebereitschaft von Lehrkräften jedoch etwas reduziert werden.

(c) Treatment-Unterricht

Das Treatment zur Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ umfasste 13 Schulstunden und war nach moderat-konstruktivistischen Grundsätzen konzipiert (vgl. Reinmann & Mandl in Krapp & Weidenmann, 2006). Im Sinn „forschenden Lernens“ sollten sich die Lernenden durch die Anwendung methodologisch gesicherter naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen gleichzeitig naturwissenschaftliches Wissen aneignen und Kenntnisse über Erkenntnisgewinnungsmethoden erwerben (Mayer & Ziemek, 2006; Stebler et al., 1998). Im Rahmen problemorientierter Lernangebote mit wechselnden Anteilen stärker instruktional geprägter bzw. offen gestalteter Phasen beschäftigten sich die Lernenden in authentischen Kontexten mit Aspekten eines Flächennutzungskonfliktes. Als Beitrag zu einer Bildung für nachhaltige Entwicklung standen dabei die Kompetenzbereiche „Fachwissen“ und „Erkenntnisgewinnung“ nicht allein im Mittelpunkt: Kennenlernen, Anwenden und Reflektieren der experimentellen Methode als Werkzeug naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung waren auch Ausgangspunkt für „Kommunikation“ und „Bewertung“. Auf diese Weise wurden im weiteren Verlauf der Unterrichtseinheit immer wieder unterschiedliche Optionen für Eingriffe in ein Waldökosystem diskutiert und aus ökologischer, soziokultureller und ökonomischer Perspektive durchdacht. Prozesse kooperativen Lernens und Phasen gemeinsamer Reflexion spielten somit eine wichtige Rolle. Neu entwickelte Mnemotechniken und bewährte Strukturierungshilfen unterstützten die Handlungsregulation beim Experimentieren.

Das Treatment war in drei Hauptphasen gegliedert: Zuerst erarbeiteten sich die Lernenden grundlegende ökologische Begriffe und Sachverhalte als Wissensbasis. Dazu gehörten u.a. Funktionen von Wäldern, Wechselwirkungen zwischen Organismen und ihrer Umwelt am Beispiel Auerwild, der „Stockwerkbau“ von Wäldern, Nahrungsbeziehungen und der Stoffkreislauf. Während eines ersten eintägigen

Aufenthaltes an einem Naturschutzzentrum wurden diese Kenntnisse problemorientiert wiederholt, angewandt und vertieft. Darüber hinaus lernten die Schüler das Prinzip hypothesengeleiteten Untersuchens und Experimentierens kennen und übten dies bei der Analyse von abiotischen Standortfaktoren sowie von Laubs-treu- und Totholzorganismen ein. Dabei wurde veranschaulicht, dass die Weitung des Hypothesen-Suchraums (Klahr, 2000) von Vorteil sein kann. Es folgten Lernmodule, in denen die Schüler domänenübergreifende Aspekte des Experimentierens kennen lernten und im ökologischen Kontext anwandten: Hypothesenprüfung anhand von Daten (Borkenkäfer-Kalamitäten), Notwendigkeit von Kontrollansätzen, Strategie der Variablenkontrolle sowie Planung von Experimenten in Versuchsreihen. Die Lerngruppen befassten sich auch mit wissenschaftspropädeutischen Aspekten: Anhand geeigneter Lernanlässe (Experimente mit Asseln, Bedingungen für Keimung und Wachstum, Folgen von Schadstoffeintrag bzw. natürlicher Düngung) erfuhren die Lernenden, dass Experimente im ökologischen Kontext besonders anspruchsvoll sind. Sie setzten sich u.a. mit der Notwendigkeit von Messwiederholung, Langzeitbeobachtungen, großen Stichprobenumfängen und der Modellierung von Phänomenen auseinander. Im Verlauf des Treatments nahm die Offenheit der Experimentalaufträge stetig zu (vgl. Mayer & Ziemek, 2006). In einer dritten Phase schlüpften die Schüler in die Rolle von „Experten“: Sie realisierten während eines zweiten Aufenthalts am Naturschutzzentrum eigene Forschungsprojekte (Modellexperimente zu Schutzfunktionen von Wäldern) und beurteilten die Güte vorgegebener Experimente von „Naturwissenschaftlern“ (vgl. Klahr & Nigam, 2004). Der Flächennutzungskonflikt stellte als Rahmenhandlung einen authentischen Kontext dar, in dem nicht nur die Arbeit von Naturwissenschaftlern kennen gelernt und verschiedene NOS-Aspekte betrachtet werden konnten, sondern auch die Notwendigkeit mehrperspektivischen Denkens und verantwortungsvollen Entscheidens in nachhaltigkeitsbezogenen Sachverhalten erfahrbar wurde.

(d) Operationalisierung der Variablen

Operationalisierung der unabhängigen Variablen

Die unabhängige Variable „Unterricht“ betraf die Kombination von zwei Faktoren mit jeweils zwei Ausprägungen: Zum einen die didaktisch-methodische Unterrichtskonzeption, welche bestimmte Merkmale der Lernumgebung und spezifische Maßnahmen zur Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ entweder umfasste oder nicht. Zum anderen wurde der Unterrichtsgegenstand variiert: Er betraf entweder den „Lebensraum Wald“ oder nicht. Drei von vier möglichen Kombinationen des zweifaktoriellen Untersuchungsplans wurden als Experimentalbedingungen verwirklicht: (a) Unterricht mit spezieller Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ im Kontext „Ökosystem Wald“ (kurz: EXP), (b) Unterricht ohne spezielle Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ im Kontext „Ökosystem Wald“ (kurz: KG_{Öko}) und (c) Unterricht zu anderen naturwissenschaftlichen Themen ohne spezielle Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ (kurz: KG₀). Des Weiteren wurde eine Kontrollgruppe mit Unterricht ohne spezielle Förderung

„experimenteller Problemlösefähigkeit“ zu beliebigen naturwissenschaftlichen Themen miteinbezogen (kurz: $KG_{\text{Aut.}}$) (vgl. Tabelle 10.1).

Zur Kontrolle der unabhängigen Variablen wurden die Experimentalbedingungen bestmöglich parallelisiert: Die inhaltlichen Aspekte des Kontextes „Ökosystem Wald“ waren für die Experimentalgruppen EXP und $KG_{\text{Öko}}$ größtenteils identisch. Die einheitliche Umsetzung des Treatments EXP wurde anhand eines detailliert ausgearbeiteten Unterrichtsmanuals, vorgegebener Medien und der Schulung der teilnehmenden Lehrpersonen und Mitarbeitenden des Naturschutzzentrums erreicht. Geringfügige Abweichungen von den Vorgaben wurden in Unterrichtstagebüchern festgehalten. Die Dauer der zwischen Pre- und Posttest durchgeführten Unterrichtseinheiten war bei allen Experimentalgruppen vergleichbar.

Als Störgrößen kamen verschiedene Faktoren in Frage: Neben den allgemeinen kognitiven Fähigkeiten und der Kompetenzausprägung bei den Schülern zu Beginn u.a. der familiäre Hintergrund (sprachliche Fähigkeiten, sozioökonomisches und -kulturelles Milieu) und institutionelle Rahmenbedingungen an den Schulen, Eigenschaften der Lehrpersonen und Unterstützung der Schüler außerhalb der Schule (Prenzel et al., 2007).

Obgleich eine exakte Kontrolle im Rahmen des Quasiexperiments nicht möglich war, wurde versucht, systematische Unterschiede zwischen den Gruppen möglichst gering zu halten bzw. statistisch zu kontrollieren: Hinsichtlich des Anteils von Lernenden, deren Elternteile deutsch nicht als Muttersprache haben, unterschieden sich die Gruppen nicht. Bei der Suche nach Klassen wurden bevorzugt Schulen mit mehreren Parallelklassen ausgewählt, welche auf die Experimentalbedingungen verteilt werden konnten. Eine multivariate Varianzanalyse mit univariaten post-hoc-Tests zeigte, dass sich die Experimentalbedingungen hinsichtlich der allgemeinen kognitiven Fähigkeiten und der Note in Mathematik nicht unterschieden. Bezüglich der Noten in Deutsch und „Naturwissenschaftlichem Arbeiten“ bestanden Unterschiede. Diese Variablen wurden als Kovariaten in Kovarianzanalysen miteinbezogen, wenn sie signifikant zur Varianzaufklärung bei der Kompetenzentwicklung beitragen. Die beteiligten Lehrpersonen wurden den Experimentalgruppen so zugewiesen, dass Merkmale wie Geschlecht, Alter und augenscheinliche motivationale Tendenz möglichst ausgewogen berücksichtigt wurden.

Operationalisierung der abhängigen Variablen

(1.) Leistungstest

Angesichts des Stichprobenumfangs wurde ein schriftlicher Leistungstest auf Grundlage der klassischen Testtheorie erstellt und eingesetzt. Fünf Subtests setzen sich jeweils aus mindestens einem Item und maximal acht Items zusammen (vgl. Tabelle 10.2). Darin wurden prozessbezogene kognitive Komponenten „experimenteller Problemlösefähigkeit“ erfasst, welche im Kompetenzbereich „Erkenntnisgewinnung“ angesiedelt sind. Die anderen o.g. Kompetenzbereiche „Fachwissen“, „Kommunikation“ und „Bewertung“ wurden bei der Leistungsmessung nicht berücksichtigt.

Tab. 10.2: Skaleneigenschaften (Hauptstudie).

Subtest	Anzahl (Items)	Messzeitpunkt			
		Pretest		Posttest	
		<i>n</i>	Cr. α	<i>n</i>	Cr. α
„Epistemisches Fragen“	3	480	.53	472	.58
„Unabhängige Variablen identifizieren“	3	480	.78	472	.85
„Ansätze vergleichen“	4	453	.47	442	.61
„Aussagekraft ökolog. Experimente“	8	414	.54	434	.68
„Autonomie-Erleben“	6	234	.64	233	.88

Anmerkungen.

n: Umfang der Teilstichprobe. Cr. α : Cronbachs alpha.

- Der Subtest „*Experiment planen*“ erfasste anhand eines Partial-credit-Systems (0 bis 6 Punkte) die Kompetenzen, im Rahmen eines zweifaktoriellen Experiments eigenständig Kontrollansätze zu berücksichtigen, dabei die Variablen-Kontroll-Strategie korrekt anzuwenden (vgl. Schulz, Wirtz & Staraschek, Kapitel 2 in diesem Band) sowie den Vergleich von Ansätzen anzusprechen. Als Grundlage für die Konstruktion des Open-Response-Items und die Codierregeln diente das Vorbild von Hammann et al. (2008). Das Auswertungsschema wurde verfeinert, um Performanzunterschiede detaillierter erfassen zu können. Aus pragmatischen Gründen wurde nur ein Item verwendet (vgl. Ehmer, 2008).
- Die Operationalisierung der Kompetenz „*Epistemisches Fragen*“ basierte auf Kriterien, die u.a. von Germann et al. (1996), Mayer et al. (2008) sowie Neber und Anton (2008) angesprochen wurden. Open-Response-Items erfassten die Kompetenz, Wissen generierende und Prozess regulierende Fragen zu formulieren, welche kausale Beziehungen zwischen unabhängigen und abhängigen Variablen möglichst elaboriert ansprechen sowie experimentell überprüfbar sind. Das neue Messverfahren ist an die Stichprobe der 6. Klassenstufe besser angepasst, da es lediglich Formulierungstypen bewertet (Partial-credit-System: 0 bis 4 Punkte). Domäne-spezifisches Vorwissen ist zur Bearbeitung nicht erforderlich.
- Der neu entwickelte Subtest „*Unabhängige Variablen identifizieren*“ bildet die Kompetenz ab, voneinander unterscheidbare veränderliche Systemgrößen als potenziell ursächliche Faktoren für bestimmte Effekte im ökologischen Kontext zu identifizieren. Er orientiert sich u.a. an Germann et al. (1996) und honoriert sinnvolle Nennungen mit je einem Credit-Punkt, woraus ein Summenwert gebildet wird.
- Das Instrument „*Ansätze vergleichen*“ basiert auf Vorarbeiten von Hammann et al. (2007) und Ehmer (2008), bei denen die Kompetenz als „Planung von Experimenten“ bezeichnet wird. Es erfasst in Form von Multiple-Choice-Items die Fähigkeit, aus vorgegebenen Ansätzen diejenigen zu identifizieren, die sich zum

Vergleich in einem zweifaktoriellen Experiment eignen. Es liegt eine Codierung nach dem Partial-credit-Modell (0 bis 3 Punkte) vor, welche Aspekte der Auswahlstrategie berücksichtigt. Im Rahmen einer Vorstudie wurde zur Konstruktvalidierung eine konvergente Validierung der neu erstellten Items im ökologischen Kontext mit den Items von Ehmer vorgenommen.

- Der neu entwickelte Subtest „*Aussagekraft ökologischer Experimente beurteilen*“ erfasst anhand von Multiple-Choice-Items mit dichotomer Codierung (richtig/falsch) die Anwendung des Wissens um die Bedeutung großer Stichprobenumfänge und langer Beobachtungszeit bei Experimenten in ökologischen (Sub-)Systemen. Eine Erprobung in den Klassenstufen 6 und 9 stellte die Sensitivität des Instruments unter Beweis.
- Die *nonverbale Grundintelligenz* wurde mit dem Subtest Matrizen aus Teil 1 des CFT 20-R (Weiß, 2006) erfasst.

(2.) Fragebogen

Neben anderen Einstellungsvariablen wurde in den Gruppen EXP und KG_{Aut.} subjektives „Autonomieerleben [im Unterricht]“ (adaptiert nach Kunter, 2005) anhand eines Fragebogens mit einer sechsstufigen bipolaren Ratingskala (0 bis 5 Punkte) erhoben.

(e) Experimentalbedingungen

Tabelle 10.1 zeigt die zur Beantwortung der Fragestellungen realisierten Gruppen. Es wurde versucht, einen ausbalancierten Versuchsplan zu realisieren.

(f) Durchführung der Hauptstudie

Nach einer Pilotstudie 2009 und anschließender Weiterentwicklung von Treatment und Testverfahren wurde im Frühjahr/Sommer 2010 die Hauptstudie durchgeführt. Nach Bearbeitung des Leistungstests und des Fragebogens schloss sich in allen Experimentalbedingungen ein mehrwöchiger Zeitraum mit ca. 13 Schulstunden Unterricht an. Die Klassen der Treatmentgruppe EXP begaben sich zusätzlich an zwei Tagen an das Naturschutzzentrum, wo Mitarbeiterinnen das Programm durchführten. Etwa zwei Wochen nach der jeweiligen Unterrichtseinheit fand der Posttest statt.

(g) Gütekriterien der Erhebungsinstrumente

Erwartungskonform waren die *Reliabilitätswerte* des Posttests höher als beim Pretest (vgl. Tabelle 10.3). Die interne Konsistenz mancher Subskalen des Leistungstests lag nicht immer im zufriedenstellenden Bereich (Cronbachs $\alpha > .70$), reichte für Gruppenvergleiche aber aus. Die z.T. moderate interne Konsistenz mancher Skalen ist v.a. darauf zurückzuführen, dass der Testumfang begrenzt werden musste, was sich auf die Anzahl der Items pro Subtest-Skala auswirkte.

Die *Unabhängigkeit* der Durchführung und Auswertung wurde auf unterschiedliche Weise sichergestellt: So etwa die Durchführungsobjektivität durch detaillierte

Instruktionen zur Datenerhebung. Hinsichtlich der Auswertungsobjektivität bei Open-Response-Items wurden differenzierte Codierschemata entwickelt und optimiert. Die folgenden Angaben zur Güte der Übereinstimmung der Codierungen basieren auf jeweils über 35 doppelten Codierungen. Da von einem Intervallskalenniveau ausgegangen wurde, sind als Übereinstimmungsmaße im Folgenden sowohl Durchschnittswerte der Intraklassenkorrelation ($ICC_{2,1}$) als auch das zufallsbereinigte Maß der absoluten Übereinstimmung Cohens *kappa* angegeben: $r = .82$ bzw. Cohens $\kappa = .63$ („Epistemisches Fragen“), $r = .98$ bzw. Cohens $\kappa = .95$ („Experiment planen“), $r = .96$ bzw. Cohens $\kappa = .79$ („Unabhängige Variable identifizieren“). Die Inter-coder-Übereinstimmung bzw. -reliabilität weist demnach akzeptable bis sehr gute Kennwerte auf (vgl. Wirtz & Caspar, 2002).

Angesichts der Operationalisierung der Merkmale ist von einer hohen Inhaltsvalidität der Subtests auszugehen. Allerdings wurden nur Komponenten der im Rahmen von Realexperimenten benötigten Problemlösefähigkeit erfasst (vgl. Hammann et al., 2007).

(h) Auswertung

Die Daten wurden nach dem *Per-fiat*-Prinzip anhand parametrischer Verfahren (Bortz & Schuster, 2010) mithilfe der Statistik-Software PASW 18 ausgewertet. Dazu gehörten Multivariate einfaktorische Varianzanalysen (MANOVA), einfaktorische Varianzanalysen (ANOVA) und *t*-Tests. Für die Hypothesen-Prüfung wurden Kovarianzanalysen (ANCOVA) sowie bivariate Korrelationen berechnet.

10.3.2 Ergebnisse

(a) Stichprobe

461 Realschüler aus Baden-Württemberg waren auf die Experimentalgruppen verteilt (Tabelle 10.1). Das Durchschnittsalter betrug gerundet 10.9* Jahre ($SD = 0.51$, Min.: 11 Jahre, Max.: 14 Jahre). Der Jungenanteil war mit ca. 56 Prozent etwas höher als der Mädchenanteil. Für ca. 4/5 der Mütter bzw. Väter der befragten Lernenden ist Deutsch die Muttersprache. Aufgrund von Umzügen und krankheitsbedingter Abwesenheit kamen in geringem Umfang Drop-outs zustande, welche bei Analysen mit verbundenen Stichproben nicht berücksichtigt wurden.

(b) Hypothesenprüfung

(1.) Wirksamkeit des Treatments

Eine multivariate Varianzanalyse ergab, dass sich die Experimentalgruppen hinsichtlich der hier berichteten untersuchten Komponenten „experimenteller Problemlösefähigkeit“ zum Pretestzeitpunkt nicht voneinander unterschieden, $F(10,598) = 0.96$, $p = .48$. Es lag demnach kein systematischer Stichprobenfehler infolge der Klumpenstichprobe vor. Insofern wurden bei den anschließenden univariaten

*: korrekt: 11.9 Jahre

Tab. 10.3: Deskriptive Statistiken und Parameterschätzungen des Leistungstests sowie von zwei Variablen des Persönlichkeitstests (Hauptstudie)

Subtest	Gruppe	n	Messzeitpunkt				ANCOVA	
			Pretest		Posttest		Parameterschätzung	
			M	SD	M	SD	M_b	SE
Experiment planen	EXP	120	1.56	1.52	2.13	1.84	2.15	0.15
	KG _{Öko}	93	1.58	1.74	1.73	1.79	1.74	0.17
	KG ₀	100	1.65	1.59	1.84	1.75	1.82	0.17
Epistemisches Fragen	EXP	120	1.01	0.67	1.31	0.86	1.31	0.06
	KG _{Öko}	93	1.10	0.64	1.14	0.77	1.17	0.07
	KG ₀	100	1.15	0.64	1.18	0.67	1.11	0.07
Unabhängige Variablen identifizieren	EXP	120	2.75	1.58	3.34	1.77	3.45	0.13
	KG _{Öko}	93	3.05	1.47	3.59	1.77	3.51	0.15
	KG ₀	100	3.02	1.44	3.00	1.65	2.94	0.14
Ansätze vergleichen	EXP	120	1.70	0.70	1.97	0.72	1.97	0.07
	KG _{Öko}	91	1.72	0.62	1.79	0.78	1.78	0.08
	KG ₀	98	1.77	0.79	1.70	0.80	1.71	0.08
Aussagekraft ökologischer Experimente	EXP	118	0.45	0.25	0.46	0.27	0.46	0.02
	KG _{Öko}	92	0.39	0.22	0.43	0.24	0.45	0.03
	KG ₀	99	0.47	0.24	0.42	0.28	0.40	0.03
Subjektives Autonomieleben	EXP	124	2.59	0.90	3.14	1.04	3.09	0.11
	KG _{Aut.}	111	2.24	0.97	2.61	1.38	2.68	0.11

Anmerkungen.

n: Anzahl der Versuchspersonen. M: Mittelwert. SD: Standardabweichung. M_b : geschätzter bereinigter Mittelwert (korrigiert, adjustiert). SE: Standardfehler.

Kovarianzanalysen außer dem Pretestwert der jeweils interessierenden Leistungsvariablen keine weiteren Pretestwerte als Kovariaten berücksichtigt.

Im Leistungstest sind die Posttestwerte in allen Gruppen (bis auf manche Variablen in der Gruppe KG₀) höher als im Pretest (Tabelle 10.3). Dies lässt auf einen Lerneffekt aufgrund der zweimaligen Bearbeitung schließen.

Zur statistischen Überprüfung der gerichteten Unterschiedsalternativhypothese H1 wurden ANCOVAs mit a-priori-Vergleichen durchgeführt. Diese stellten die Treatmentgruppe dem „Bündel“ der beiden Vergleichsgruppen KG_{Öko} und KG₀ gegenüber. Bei allen Variablen trug die Kovariate „Pretestwert“ mit moderaten bis starken Effekten zur Varianzaufklärung bei. Die Alternativhypothese konnte bei drei der fünf untersuchten Leistungsvariablen bestätigt werden: bei „Experimente planen“, $F(1,309) = 3.88$, $p < .05$, part. $\eta^2 > .01$, bei „Epistemisches Fragen“, $F(1,294) = 4.26$, $p < .05$, part. $\eta^2 > .01$ sowie bei „Ansätze vergleichen“, $F(1,304) = 6.75$, $p = .01$, part. $\eta^2 = .02$. Bei der Varianzaufklärung durch die Gruppenzugehörigkeit wurden

kleine Effekte beobachtet. Bezüglich der beiden anderen Variablen wurde die Alternativhypothese widerlegt, $F(1,309) = 0.11$, $p = .74$ („Unabhängige Variablen identifizieren“) bzw. $F(1,305) = 1.64$, $p = .20$ („Aussagekraft ökologischer Experimente beurteilen“).

(2.) Bedeutung des domänenspezifischen Wissens

Auch die gerichtete Unterschiedshypothese H2 wurde mit geplanten Kontrasten überprüft. Dabei wurden die Treatmentgruppe EXP und die Gruppe $KG_{\text{öko}}$ zusammengefasst und mit der Gruppe KG_0 verglichen. Die Alternativhypothese wurde lediglich in einem Fall bestätigt: Bei der Variablen „Unabhängige Variablen identifizieren“ wirkte sich das ökologische – also domänenspezifische – Wissen erwartungskonform auf die Kompetenzentwicklung aus, $F(1,309) = 9.63$, $p < .01$, part. $\eta^2 = .03$. Bei den anderen experimentellen Kompetenzen konnte wie vermutet die Nullhypothese beibehalten werden.

(3.) Konstruktvalidierung

Zur Überprüfung der Zusammenhangshypothese H3 wurden bivariate Korrelationen unter den Variablen „experimenteller Problemlösefähigkeit“ sowie mit Schulnoten und allgemeinen kognitiven Fähigkeiten berechnet. Tabelle 10.4 zeigt die Korrelationskoeffizienten.

Die Interkorrelationen der untersuchten Dimensionen „experimenteller Problemlösefähigkeit“ sind größtenteils signifikant. Die meist kleinen Korrelationskoeffizienten sprechen dafür, dass die Dimensionen, von denen lediglich manche eine gewisse Nähe aufweisen, unterscheidbar sind. Die einzelnen experimentellen Kompetenzen korrelieren größtenteils signifikant mit den Schulnoten für Mathematik, Deutsch und „Naturwissenschaftliches Arbeiten“ sowie mit den allgemeinen kognitiven Fähigkeiten ($|r| < .23$, durchschnittlich: $|r| = .12$) – jedoch nur geringfügig. Man kann davon ausgehen, dass die Skalen des Leistungstests im Sinn diskriminanter Validität etwas anderes als Fachleistung oder allgemeine kognitive Fähigkeiten abbilden. Die Hypothese H3 wird somit als bestätigt betrachtet.

(4.) Autonomieerleben

Hypothese H4 wurde hinsichtlich des subjektiven „Autonomieerlebens“ bestätigt: Die Schüler der Treatmentgruppe EXP schätzten die Zunahme der Selbstbestimmung im Unterricht höher ein als die Lernenden in der Kontrollgruppe KG_{Aut} : Eine Kovarianzanalyse mit dem Pretest-Wert als Kovariate zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen, $F(1,232) = 6.95$, $p < .01$, part. $\eta^2 = .03$ (schwacher bis mittelstarker Effekt).

(c) Weitere Befunde

Die signifikanten Unterschiede zwischen der Treatmentgruppe und den Vergleichsgruppen basieren bei den Variablen „Experiment planen“ und „Fragen formulieren“ auf einer stärkeren Kompetenzentwicklung bei den Mädchen. Post hoc zeigte

sich innerhalb der Treatmentgruppe auch ein Unterschied zwischen Mädchen und Jungen hinsichtlich der Zunahme des Autonomieerlebens, welche bei den Mädchen stärker ausgeprägt war, $F(1,121) = 10.97$, $p < .01$, part. $\eta^2 = .08$.

Tab. 10.4: Korrelationen der Komponenten „experimenteller Problemlösefähigkeit“ untereinander (Pretestwerte) sowie mit Noten und allgemeinen kognitiven Leistungen.

Merkmal	Merkmal				CFT	Fachnoten		
	1	2	3	4		M	D	NWA
1. „Exp. planen“	--				.12*	-.14**	-.17***	-.14
2. „E. Fragen“	.32***	--			.14**	-.23***	-.15**	-.17**
3. „UV identifiz.“	.24***	.23***	--		.10*	-.13**	-.17	-.20***
4. „Ansätze“	-.11*	-.08	-.07	--	-.06	-.04	.02	.00
5. „Ökolog. Exp.“	.10*	.08	.12**	.08	.05	-.17***	-.13**	-.14**

Anmerkungen.

Die Korrelationen wurden auf Basis der Daten von 392 bis 460 Vpn berechnet. ***: $p < .001$, **: $p < .01$, * $p < .05$ (zweiseitig). CFT: nonverbale Grundintelligenz; M: Mathematik; D: Deutsch; NWA:

Fächerverbund „Naturwissenschaftliches Arbeiten“.

10.4 Diskussion

Es konnte festgestellt werden, dass das Treatment in der Mehrzahl der untersuchten Dimensionen „experimenteller Problemlösefähigkeit“ wirksam war. Aufgrund der speziellen Operationalisierung von Merkmalen, der Aussparung anderer Variablen sowie der Eigenheiten des schriftlichen Messverfahrens ist die Aussagekraft hinsichtlich der Wirksamkeit des Treatments begrenzt – zumal es sich um eine quasiexperimentelle Studie handelt, bei der mögliche Störgrößen nicht durch Randomisierung kontrolliert werden konnten.

10.5 Zusammenfassung, Schlussfolgerungen für die Schulpraxis und Ausblick

Vor dem Hintergrund früherer Studien zeigt die vorliegende Interventionsstudie, dass „experimentelle Problemlösefähigkeit“ im ökologischen Kontext im Rahmen einer anspruchsvollen, problemorientierten Unterrichtseinheit bereits in der 6. Klassenstufe (vgl. Neber & Anton, 2008) – auch in der Realschule (vgl. Ehmer, 2008) – zumindest in Teilen gefördert werden kann. Dies relativiert die Befunde der Studie von Ganser und Hammann (2009), wo z.T. kein Effekt erfasst werden konnte. Die intensive unterrichtliche Berücksichtigung aller vier Kompetenzbereiche steht dem prinzipiell nicht im Weg. Wie eine Post-hoc-Analyse ergab, scheinen v. a. Mädchen profitiert zu haben. Ökologisches Wissen spielt bei den fokussierten Kompetenzen

ausschließlich bei der Identifikation unabhängiger Variablen in Ökosystemen eine Rolle. Dies spiegelt den Sachverhalt wider, wie bedeutsam Vorwissen für die Hypothesenformulierung ist (vgl. Hammann et al., 2007). Auch der korrelative Zusammenhang mit der Schulnote in NWA ist hier am höchsten; allerdings bestätigt der eher kleine Betrag des Koeffizienten die Einsicht von Klos et al. (2008), dass es sich um zwei unterscheidbare Kompetenzen handelt. Der moderat-konstruktivistisch gestaltete Unterricht führte in der Treatmentgruppe zu höherem „Autonomieerleben“ als in der Vergleichsgruppe.

Angesichts der kleinen Effekte bzw. der teilweise ausbleibenden Kompetenzentwicklung stellen sich Fragen, die in Folgestudien untersucht werden könnten: (a) Bedarf die Entwicklung bestimmter experimenteller Kompetenzen eines längeren Zeitraums (vgl. Neber & Anton, 2008) und umfangreicherer Übungsphasen? (b) Auf welche Weise könnte tutorielle Hilfe optimiert werden? (c) Welches sind Ursachen für die beobachteten Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen hinsichtlich der Wirkungen des Treatments? (d) Wie kann geschlechtsspezifische Förderung verbessert werden? (e) Wie wirkt das Treatment in anderen Schularten?

Eine Befragung der Schüler der Treatmentgruppe ergab, dass die Aufenthalte am Naturschutzzentrum sowie das kooperative und forschende Lernen die Einstellungen zum Naturwissenschaftsunterricht höchst signifikant verbesserten – neben der Kompetenzförderung ein wichtiger Beitrag zu *Scientific Literacy*.

Anmerkung. Im Sammelwerk Rieß et al. (2012, S. 377 – 409) existiert ein gemeinsames Literaturverzeichnis.

9.2.1.2 Einzelbeitrag: Roesch, Nerb und Riess (2015)



[Exzerpt: Layout und Zeilenzuordnung abweichend, obere Paginierung übereinstimmend]

Promoting Experimental Problem-solving Ability in Sixth-grade Students Through Problem-oriented Teaching of Ecology: Findings of an intervention study in a complex domain

Frank Roesch^{a*}, Josef Nerb^b and Werner Riess^c

^aBiology Department, Institute of Natural Sciences and Technology, University of Education Ludwigsburg, Ludwigsburg, Germany; ^bInstitute of Psychology, University of Education Freiburg, Freiburg, Germany; ^cInstitute of Biology and its Didactics, University of Education Freiburg, Freiburg, Germany

Our study investigated whether problem-oriented designed ecology lessons with phases of direct instruction and of open experimentation foster the development of cross-domain and domainspecific components of *experimental problem-solving ability* better than conventional lessons in science. We used a paper-and-pencil test to assess students' abilities in a quasi-experimental intervention study utilizing a pretest/posttest control-group design ($N = 340$; average performing sixth-grade students). The treatment group received lessons on *forest ecosystems* consistent with the principle of education for sustainable development. This learning environment was expected to help students enhance their ecological knowledge and their theoretical and methodological experimental competencies. Two control groups received either the teachers' usual lessons on forest ecosystems or non-specific lessons on other science topics. We found that the treatment promoted specific components of experimental problem-solving ability (generating epistemic questions, planning two-factorial experiments, and identifying correct experimental controls). However, the observed effects were small, and awareness for aspects of higher ecological experimental validity was not promoted by the treatment.

Keywords: *Biology Education; Inquiry-based Teaching; Experimentation; Problem-solving; Ecology Education; Context-based Learning*

*Corresponding author. Biology Department, Institute of Natural Sciences and Technology, University of Education Ludwigsburg, Reuteallee 46, Ludwigsburg D-71634, Germany. Email: roesch@ph-ludwigsburg.de

Introduction

Experimentation is considered to be one of the most important methods for acquiring insight into the area of scientific thinking and inquiry activities (Carey, Evans, Honda, Jay, & Unger, 1989). Thus, the promotion of competencies that facilitate the independent planning, implementation, analysis, and evaluation of experiments is an important educational goal of science education. School achievement studies, such as the Third International Mathematics and Science Study in the 1990s and the Program for International Student Assessment, have long borne testimony to the relatively low level of problem-solving ability of German students with respect to the acquisition of sophisticated natural science knowledge (Prenzel, Sälzer, Klieme, & Köller, 2013).

The consequence of these studies was that, in 2004, the National Conference of German Ministers of Education in Germany introduced an area of competence for teachers to target in *epistemic methods/scientific inquiry*, with several inquiry skills related to experimentation in current curricula (KMK, 2005). As a result, German science teachers are required to promote both learning science content and learning to do science.

A focus of German life science curricula is environmental awareness and the associated systems thinking skills required for making informed and wise decisions on issues that affect sustainable economic and environmental development (Riess & Mischo, 2010). Such competencies are often referred to as ‘ecological literacy’ or ‘environmental literacy’. While some authors see environmental literacy just as a predecessor to ecological literacy (e.g. Cutter-Mackenzie & Smith, 2003), others do not identify any differences between these two concepts (e.g. Orr, 1992), or they consider ecological knowledge as one component of environmental literacy (e.g. Morrone, Mancl, & Carr, 2001). We propose the use of the term ‘ecological literacy’ when ecological aspects of sustainability are at the focus, and ‘environmental literacy’, when social, economic, and ecological issues are equally concerned. In our study, we have laid the focus on ecological literacy; above all, we wanted the participating students to investigate ecological relationships by learning about and using scientific reasoning and inquiry procedures. Thus, we did not implement interdisciplinary lessons: social and economic issues only played a subordinate part in our treatment context. Ecological literacy might be acquired through systematic observation, measurement, and experimentation (e.g. Berkowitz, 1997; McBride, Brewer, Berkowitz, & Borrie, 2013). Thus, an ecologically literate person understands environmental realities by specifically identifying their cause-and-effect relationships between elements of the ecosystems (McBride et al., 2013).

Because German science teachers are allowed to design their own lesson plans and to arrange teaching–learning environments by combining competencies according to the national output standards with any domain, respectively, learning context, some central questions must be answered: How and when can experimental inquiry skills be promoted effectively? (Hofstein & Lunetta, 2004; Lunetta, Hofstein, & Clough, 2007). Would it be possible to enhance the experimental problem-solving ability in a complex domain such as *ecology* which plays an important part in our everyday

lives? Is problem-oriented learning in such an authentic context beneficial to foster problem-solving skills? To date, it has not yet been clarified whether experimentation in the science classroom should be promoted more in isolation, removed from specific challenging scientific content, or whether the contextual embedding of competence development into more complex content can generate particular opportunities for learning processes (Keselman, 2003). Thus, whether and how experimental problem-solving ability can be promoted in complex domains that are part of the natural science curricula, such as ecology, is an important research issue and is highly relevant for science teaching.

To advance the discussion on these issues, we reviewed the research literature on promoting experimental problem-solving ability in the classroom. Our focus was on the extent that complexity varies both as a function of the domain (=topic of instruction) under scrutiny (Keselman, 2003) and as a function of the required cognitive demands within a specific learning context (Kirschner, Sweller, & Clark, 2006) (e.g. particularly challenging learning activities, respectively, the topic in isolation or within the frame of sustainable development). We designed our study to scrutinize the effectiveness of a specially designed teaching module on this topic and to deduce practical implications and research desiderata.

Theoretical Background and State of Research

Experimental Problem-solving Ability

Experimenting—a demanding inquiry ‘tool’ to solve scientific problems. Experimentation is seen as a complex problem-solving process (Hammann, Phan, Ehmer, & Grimm, 2008), comprising various operations requiring cognitive, methodical, and technical skills (Carey et al., 1989; Germann, Aram, Odom, & Burke, 1996; Mayer, Grube, & Möller, 2008)—as well as the metacognitive ability to self-regulate (Thillmann, Künsting, Wirth & Leutner, 2009).

Competence models for experimentation skills. Many approaches in science didactics for fostering experimentation skills are based on the *Scientific Discovery as Dual Search* (SDDS) model proposed by Klahr (2000). The SDDS model describes the phases and cognitive activities in scientific inquiry in detail, helps to analyze students’ levels in experimentation competencies, and takes into account the effects of inadequate conceptions and inappropriate strategies. It has been shown to be useful as a basis for promoting and assessing science inquiry skills (Ehmer, 2008; Ganser & Hammann, 2009; Hof, 2011; Klahr & Nigam, 2004; Neber & Anton, 2008).

Being based on a psychological theory of human problem-solving (Newell & Simon, 1972), the SDDS model considers experimentation as being a problem-solving process within two spaces: a hypothesis space, within which domain-specific prior knowledge can be used to generate theory-based hypotheses that could explain phenomena, and an experiment space that consists of all possible ways to conduct

experiments within the domain. Thus, selecting a hypothesis and choosing an experimental design to test the hypothesis are seen as the main tasks of the problem solver.

Klahr (2000) emphasized three major problem-solving phases: in the first, the problem solver searches the hypothesis space; afterwards, he searches the experiment space, and finally evaluates the evidence. These processes are interconnected and consist of different subprocesses and cognitive activities. In the second phase, adequate designs, procedures, and analytical methods are developed. The experimental design must be evaluated with respect to its internal validity. That is, before starting with actual measuring activities, effects resulting from the manipulation of the experimental system must be anticipated. Thus, contemplating imaginary experiments is an important step prior to testing a hypothesis. In the third phase of experimentation, conclusions are derived from the empirical evidence in order to accept, reject, or revise the hypothesis.

To date, different competence models based on Klahr's (2000) SDDS model have shown that many students have an unscientific understanding of the nature of science and have problems with the planning, implementation, and analysis of their experiments (Carey et al., 1989; Ehmer, 2008; Germann et al., 1996; Hammann et al., 2008; Keselman, 2003; Mayer et al., 2008). Mayer et al. (2008) and Schneider, Bullock, and Sodian (1998) found that correct understanding and use of strategies and scientific reasoning skills do improve with time.

Promotion of experimental problem-solving ability. Inquiry-based science education seems to be suitable for promoting experimental problem-solving ability (Ehmer, 2008; Keselman, 2003). Following this approach, teaching and learning processes focus on science investigation processes. Thereby, students acquire science content knowledge, and they become trained in inquiry skills and methods. Inquiry-based science education includes, among other principles, autonomous learning (Hof, 2011, pp. 31ff.): the students should not only act according to the teachers' detailed instructions, but also make decisions on their own as often as is reasonable. This aspect aims to enable the students to apply their inquiry skills and problem-solving ability independently. Moreover, according to the self-determination theory (Deci, & Ryan, 2000), more autonomy in learning processes can increase the students' intrinsic motivation—as far as they are not overly challenged by their tasks. On the other hand, autonomy in open-ended experimentation causes a more extensive need for self-regulation, compared to learning activities in guided-inquiry learning environments. A lack of guidance seems to create difficulties for our working memory, which impairs the self-regulation competencies (Kirschner et al., 2006). Hence, it is important to implement learning environments which consider both—instruction and autonomy—in balanced proportions.

Comparable intervention studies that cover the promotion of experimental competencies show different findings: for example, Ehmer (2008) observed remarkable effects in promoting procedural abilities and knowledge of scientific methods after a treatment over only four lessons. In contrast, Ganser and Hammann (2009) could

not detect any effects in performance, although their didactic procedure was very similar, and their treatment had a longer duration. Both studies followed the *cognitive apprenticeship* concept, resulted in cumulative learning, and enhanced the openness of the learning environment and the autonomy of the students. However, contextualized learning did play a more important part in Ganser and Hammann's study than in Ehmer's study. Surprisingly, Hof (2011) found that a higher level of openness in experimentation can favor the enhancement of experimental problem-solving ability, compared to a treatment with more guided inquiry.

What could be the cause for the non-appearance of expected promotion effects in some intervention studies? Being engaged independently in solving experimental problems with high complexity causes a high cognitive load on working memory (Kirschner et al., 2006; see above). It seems that this condition depends both on the type of activity (e.g. computer-based simulations versus real experimentation) and on the level of openness of the experimentation activities. The high demands (a) of the learning context and (b) of the complexity of the domain are also likely to play a part (Keselman, 2003). Below, we will deal with both aspects more in detail.

Several studies show the importance of instructional support during experimentation for successful independent problem-solving; explicit instruction and guided training of scientific reasoning appear to promote cognitive and metacognitive components of experimental problem-solving ability more effectively than strictly constructivist guided discovery lessons (Kirschner et al., 2006; Klahr & Nigam, 2004). Various support methods have been tested such as (a) instructional support during teacher-led conversation in class (Socratic method) to structure, self-regulate, reflect, and discuss the inquiry process (Carey et al., 1989), (b) worked examples to get to know the steps of experimental problem-solving processes and sample problem solutions (Kirschner et al., 2006), (c) process worksheets that could help to structure the experimental inquiry process (Kirschner et al., 2006), (d) prompts in computer-based learning environments with dynamic model systems (Thillmann et al., 2009), and (e) given question stems as structured tutorial aid to generate good research questions (Neber & Anton, 2008). As a rule, these measures of instructional support only lead to success after an explicit introduction and training activities.

Are specific science content domains better suited toward fostering experimental problem-solving ability? Effective intervention studies have focused on areas of mechanics (e.g. Klahr & Nigam, 2004; Thillmann et al., 2009), acids and bases, food biochemistry (e.g. Carey et al., 1989; Ganser & Hammann, 2009), and human physiology (e.g. influences on pulse rate; Ehmer, 2008). All of these science domains are characterized by systems that are less complex than the ecological one we use. That is, the number of potential causes in stimulating an effect is limited and therefore manageable, the independent variables can be mostly well controlled, and only a few confounding variables exist or are not explicitly considered. The advantage of such low-complexity domains is that fundamental experimentation strategies and an adequate conception of the function of experiments can be relatively easily

acquired. These advantages notwithstanding, some important aspects of experimentation are not involved, and thus cannot be promoted. For these reasons, we chose the domain of ecology as a test for a learning context in which various components of experimental problem-solving ability might be promoted. As far as we are aware, there have been no previous studies that use an ecological context for this purpose.

Experimentation in the Complex Domain of Ecology

Experimentation in the domain of ecology is very challenging for various reasons (Smith & Smith, 2009): first, very complex synergistic interactions exist between abiotic and biotic system elements on different hierarchical levels of living systems. This causes amazing emergent scenarios, that is, incalculable and consequently unforeseen and also less reproducible phenomena with multidimensional cause–effect relations. Second, there are a large number of potential confounding variables in ecosystems. These uncontrolled factors reduce the internal validity of experiments. Third, biological systems—particularly ecological ones—are characterized by a dynamic nature and by the complex self-regulating processes of autopoietic living systems. For these and other reasons, it is important to enhance the validity and reliability of experiments, for example, by using large sample sizes, repeated measurements, and replication. In addition, long-term effects need to be taken into account. These aspects seem to be quite complicated; even older students have difficulties with accounting for confounding variables, using appropriate durations of observations, replicating findings or repeating measurements, and with planning appropriate sample sizes (Arnold, Kremer, & Mayer, 2013). Thus, promoting experimental problem-solving ability in an ecological domain requires not only focusing on crossdomain aspects of internal validity but also on domain-specific aspects of internal, external, and ecological validity. It is an assumption of this study that evaluation of internal, external, and ecological validity could be optimally handled in an ecological domain.

To date, there have been no studies on whether awareness of these important criteria for the validity of ecological experiments can be promoted in lower school grades. This is not a trivial question; surprisingly, studies have shown that even elementary school students can be trained to understand, for example, the principles of variable control and hypothesis testing (Klahr & Nigam, 2004); and adequate understanding of multivariable causality can be enhanced already in sixth-grade students (Keselman, 2003). In view of these facts, we assumed that also the promotion of the awareness of validity aspects could be successful.

Assessing experimental problem-solving competence within an ecological context therefore requires not only measuring strategies for controlling variables, generating hypotheses about the causal relationship of variables, and decisions about the appropriateness of study designs (which are all questions of internal validity) but also has to take into account reliability issues, such as the use of appropriate sample sizes and aspects of long-term effects. To date, only few instruments have been made available to assess these competencies (e.g. Arnold et al., 2013).

Promoting Experimental Competencies in Meaningful, Authentic Contexts

As mentioned earlier, it is not yet clear what role learning context plays in the promotion of experimental problem-solving skills. In other intervention studies that used moderately demanding contexts, the focus was only on the inquiry process and skills (while the science content played a subordinate role), or the competence areas of *epistemic methods/scientific inquiry* and *scientific content knowledge* were treated equally. This is remarkable considering that didactic approaches using context-based *science-technology-society* (STS) and *socio-scientific issues* (SSI) concepts are becoming more widely used in science teaching (Sadler, 2004), for example, national science education programs such as *Biology in Context* (Ganser & Hammann, 2009) and *Chemistry in Context* (Parchmann et al., 2006). These teaching programs include problem-based situated learning and also incorporate two other competence areas of *decision-making* and *communication about science* (Sadler, 2004), which were also specified as educational goals by the National Conference of German Ministers of Education (KMK, 2005).

Many studies have shown the positive effects of context-based and applications-led science education (Sadler, 2004). These studies found improvement of students' general attitudes to natural sciences and to school science, learning-motivation, argumentation skills, understanding of nature of science, and facilitation of transfer and application of competencies. The learning of science concepts and principles in context-based treatments shows effects that are at least comparable to those of conventional instruction, and sometimes even better results (Parchmann et al., 2006). These arguments speak for contextualization of teaching content in order to promote experimental problem-solving ability.

Nevertheless, contextualized science education includes a number of diverse learning goals, and thus imposes challenging demands on both instruction and learning. Some researchers have emphasized the risks of contexts with high complexity (Sadler, 2004). Such learning environments can be discouraging for students and may reduce learning effects because of high extraneous cognitive load (Kirschner et al., 2006). But problem-solving processes in experimentation require a 'didactically' sensible reduction of the complexity of phenomena and the learning environment, and a focus and specialization on central points and competencies (Muckenfuß, 1995; Parchmann et al., 2006).

Research Questions and Hypotheses

Given that open-ended and independent experimentation of students is seen as a very complex activity, the question arises whether the enhancement of its competencies should be combined with the domain of ecology in a demanding authentic context as suggested earlier. In view of the presented theoretical and empirical background, different research desiderata arose that we wanted to investigate in our study.

Hence, we focused on the following issues.

(1) Does a problem-oriented teaching concept in the complex domain of ecology in a meaningful, sophisticated context promote the following components of

experimental problem-solving ability: formulation of epistemic questions, planning of non-confounded two-factor experiments, correct handling of independent variables, and awareness of the effect of sample size and observation duration?

(2) How does our treatment affect the pupils' feeling of autonomy?

For our study, we expected a moderate effect of the teaching lessons in fostering the specific experimental problem-solving abilities; our treatment included well demonstrated training methods (Ehmer, 2008; Hof, 2011; Neber & Anton, 2008). We assumed that sixth graders are not too young to be supported in learning about the meaning of sample size and duration of observation; experimental investigations on seed germination (Hammann et al., 2008) and the taxis phenomenon of soil organisms are suitable for sixth graders' age. Direct experiences with cause–effect relations between abiotic and biotic system elements in combination with extensive reflection about the phenomena and the inquiry activities are expected to promote the pupils' conceptions of validity and their aptitude in specific investigation designs. Thus, we hypothesized that the students would be able to distinguish between good designs and poor designs with regard to sample sizes and observational periods. On the other hand, we expected that the complexity of the ecological lesson content and of the SSI context would lead to weaker learning effects than those found in studies using less demanding domains or learning contexts (e.g. Ehmer, 2008).

We further assumed that the students of the treatment group would experience more autonomy than the participants of the control groups. This is a reasonable assumption since the lesson structure followed a cognitive apprenticeship approach with phases of open-ended experimentation, which is not typical in German science classrooms.

Method

Design

To increase the study's ecological validity, we conducted a field study within the students' usual classroom setting. This, of course, prevents the option of randomly assigning students and teachers to particular study conditions. Thus, in assigning classes to conditions we took care that treatment and control groups were as similar as possible with respect to class size, the ratio of boys to girls, and school location (e.g. middle-class German suburbia). Variables such as general cognitive abilities, levels of competence, family background (which determines verbal ability, socioeconomic, and cultural environment), and institutional conditions such as the quality of the teachers, and support for students outside of the school were not controlled for. Nonetheless, we chose schools that had several classes at the same grade level ('parallel' classes) in order to minimize the number of influencing factors. We chose the teachers in such a way that gender, age, and apparent motivational tendencies were homogeneously distributed among the experimental and control groups.

The research questions were investigated using a quasi-experimental pretest/posttest design. By using a pretest, we tried to statistically control factors (such as the pretest scores and the achievement in several school subjects) that we considered to be relevant for our research questions. All these measures were taken to increase the internal validity of our study and to rule alternative explanations for post-treatment effects between conditions (for a more detailed methodological discussion on this issue, see Shadish, Cook, & Campbell, 2002). In doing so we tried to achieve a suitable compromise between methodological and practical requirements in pursuit of our research goals.

Experimental Conditions

Table 1 shows the study design. In the treatment group (EXP), students received precisely worked-out, competence-oriented lessons on forest ecology by pre-trained teachers. Standard implementation of the EXP treatment was aimed for by providing the participating teachers with a detailed teaching manual that included selected media, methods and learning activities, and through training workshops, given by members of our research group to the teachers and employees of the nature conservation center. We used two control groups: students in the first control group (CG_{ECO}) received the same content as the treatment group, but the teachers were not instructed to follow a particular concept for promoting experimental problem-solving ability. In the second control group (CG₀), the lessons included other science content from the sixth-grade curriculum not in the area of ecology: in southwestern Germany, sciences (biology, chemistry, and physics) in the 'Realschule'-School type are taught as an integrated subject, referred to as *natural science work*. These teachers were also not restricted in their choice of teaching method. The second control group was the result of additional research questions that are not reported in this publication. The time on task was the same in all three groups.

We think that withholding our specific promotion concept from both control groups for the time of running the study is justifiable; first, 'conventional' *natural science work*

Table 1. *Experimental Conditions (main study)*

Aspect	Experimental condition		
	EXP	CG _{ECO}	CG ₀
Specific treatment to promote experimental problem-solving ability	yes	no	no
Forest ecosystem topic	yes	yes	no
Partial sample size (<i>n</i>)	129	105	106
Age	<i>M</i> 11.88	11.84	11.87
	<i>SD</i> 0.58	0.56	0.44

Note. *n* = number of test subjects in the partial sample; *M* = mean value; *SD* = standard deviation.

lessons in the CG_{ECO} control group had to take into account the enhancement of inquiry competencies, too (KMK, 2005). Second, we delivered the teaching manual to every control group teacher after completing the study. Additionally, we reported the first preliminary results to encourage using the materials in the respective classes later, too.

Sample

Our study comprised 340 students in southwestern Germany (see Table 1). The mean age was 11.9 years ($SD = 0.51$, range: 11–14 years). The percentage of boys (56%) was slightly higher than that of girls. German is the native language of 80% of the mothers and fathers of the surveyed students. The groups did not differ with respect to the percentage of students with a mother or father who does not speak German as a first language. The students were from urban, respectively, provincial schools, and they are representative for southern Germany. Most of the students' families belong to the economic middle class and have no migratory background. A total of 27 dropouts were due to relocations and illness-related absence; these study participants were not included in the analyses.

We chose sixth-grade students as participants in our study for several reasons: The complex ecosystems domain is anchored in the German sixth-grade *natural science work* curriculum. Its use in the current study can thus be deemed as curricular-valid content. According to the science curriculum, ecological and environmental aspects are dealt with sixth, ninth, and eleventh grades. Why did we choose to implement our study in grade six, although the subject is usually treated in greater depth in the higher grades? In view of Arnold's et al. (2013) findings in higher grades (see earlier), it makes sense to investigate how a spiral curriculum could be implemented to optimally promote students' awareness of appropriate durations of observations and sample sizes. If a fundamental level of awareness for these aspects of higher external and ecological experimental validity could be achieved in a lower grade, in combination with basic cognitive experimental problem-solving competencies, then this would be a solid basis from which to start developing higher levels of this component of experimental problem-solving ability. Various authors have reported on the effectiveness of their interventions enhancing cross-domain experimental skills in grades six or seven, or even lower age groups (e.g. Carey et al., 1989; Ehmer, 2008; Hof, 2011; Klahr & Nigam, 2004). In grade six, most children are expected to be within the transition from the concrete operational phase to the formal operational phase in their cognitive development. This step seems to be an important prerequisite to the further development of cognitive and metacognitive experimental competencies (Schneider et al., 1998) and could possibly facilitate the development of a basic awareness level concerning external validity.

A further comment needs to be made on the student selection. Germany has a three-tier school system. When comparing the results of this study with others conducted in Germany (e.g. Ehmer, 2008; Ganser & Hammann, 2009; Hof, 2011), it is important to notice which kind of schools participated. 'Gymnasien' serve students

who are expected to pursue a university degree. Students at these schools generally perform better on tests in all subjects, and in particular in science literacy (Mayer et al., 2008; Prenzel et al., 2013). Students who require more intensive instructional support attend 'Hauptschulen'. We chose to investigate students in 'Realschulen', schools which constitute the middle track of the three tiers, because they tend to perform in the middle of the achievement spectrum. Thus, we tried to reduce the possibility of exceptional student abilities skewing our results or introducing more scatter into the data (due to particularly low- or high-achieving students).

Table 1 shows our attempt to achieve a balanced experimental plan.

Treatment Lessons

We chose 'forest' as the ecosystem to study because of its familiarity to most students in Germany. Our treatment was intended to promote experimental problem-solving ability. It was designed according to moderately constructivist principles. Consistent with Ehmer (2008) and Ganser and Hammann (2009), we designed our teaching unit to be a systematic, cumulative, explicit training, taking into consideration students' understanding, misconceptions, and prior competency levels. The goal was to provide a framework of problem-oriented learning opportunities with varying degrees of direct, teacher-led instruction and open-structured experimentation phases. Through the practical application of scientific inquiry methods and the adherence to natural scientific thinking and working, students were expected to acquire ecological content knowledge, scientific reasoning, and inquiry competencies from experimentation.

A land-use conflict was employed as the background story, representing an authentic context for situated learning. Through this story, students could experience the need for scientific inquiry to investigate ecological causalities and for multi-perspective thinking and responsible decision-making in situations relating to sustainability (Parchmann et al., 2006): Different options for interventions in a forest ecosystem were discussed from ecological, socio-cultural, and economic perspectives in order to find the best option for sustainable development.

The treatment was divided into the following five main phases:

The first lessons introduced important content aspects from the domain of ecology: ecological, economic, and social functions of forests; interactions between organisms and their environment (using the wood grouse as an exemplary endemic bird species); the vertical zoning of forest vegetation; food chains and food webs and the matter cycle in ecosystems. The first encounter of the students with these concepts and terms was contextualized within the background story. The information was repeated, applied, and then presented in greater depth using a problem-oriented structure in the subsequent learning activities.

The second phase began with a one-day visit to a nature conservation center in the *Black Forest* National Park in Southern Germany. Here, the students learned the principle of hypothesis-guided research and experimentation and then put this knowledge into practice in the authentic natural environment of the surrounding forest ('forest

classroom'). This place was chosen to also give a real setting for a land-use conflict. It was assumed that by engaging students to conduct their own research projects (cf. Žoldošová & Prokop, 2006a), the experiential process would result in a better understanding of the natural phenomena and the scientific inquiry activities. It was found in a similar learning environment that sixth-grade students' attitudes toward science and ecological knowledge can be promoted by participating in such short-term fieldwork activities (Prokop, Tuncer, & Kvasničák, 2007). We also expected positive effects on social and affective features such as ability to cooperate, peer relationships, and learning motivation as Amos and Reiss (2012) could observe in their study with students of the same age group.

In the third lesson phase, students learned cross-domain aspects of experimentation, including generating epistemic research questions in the pre-experimental phase (which can be advantageous for the planning of experiments; Neber & Anton, 2008), hypothesis testing using data, the need for experimental control, the control-of-variables strategy, the interpretation of evidence, and planning experiments in test series, which they applied then to an ecological context. Our method placed great emphasis on the mental activity of the students, already in the pre-experimental phase (Neber & Anton, 2008). Various examples of experimentation and of sub-contexts in ecology should facilitate the transfer.

In the fourth phase, students learned that experiments in the complex domain of ecology require repeated measurements, long-term observations, and an understanding of the effects of sample size. The students conducted ethological and long-term experiments with regard to ecological issues (e.g. taxis phenomena of woodlice; influences on seed germination and plant growth under different conditions and through different substances). In gender homogeneous learning teams, the pupils reflected on the internal and external ecological validity of their experimental design. Using the cognitive apprenticeship approach, we administered phases with explicit instruction (e.g. showing exactly what the students could do or 'modeling') as well as phases with tutorial support ('scaffolding') in the form of worked examples or process worksheets.

In the fifth phase, the students assumed the roles of science experts. During a second visit to the nature conservation center, they conducted open-ended model experiments on the protective functions of forests in mountainous regions (Figure 1). After the inquiry phase, the learning teams (same as in the fourth phase) presented their experimental procedure and their findings. The rest of the class served as the *science community* to evaluate the quality of the experimental designs and to discuss the aspects of validity and the conclusions of the presenting teams. We assumed that this procedure would facilitate awareness of well-planned, non-confounded experiments, of the meaning of internal and external ecological validity, and of the limitations of model experiments.

In the final lesson, students assessed the quality of given experiments from fictitious natural scientists. This procedure served to review acquired concepts and strategies of experimentation.



Figure 1. Students plan and conduct their own model experiments, for example, on wind erosion and the function of protective forests

Operationalization of Variables

Operationalization of independent variables. We implemented three experimental conditions, based on the independent variables *didactic-methodical teaching concept* and *subject of the lessons*. The teaching concept was varied by implementing specific measures to promote experimental problem-solving ability or by withholding the measures from the two control groups (CG_{ECO} and CG₀). Additionally, the subject of the lessons was varied by providing information on forest ecosystems to the experimental group (EXP) and to the CG_{ECO} control group but withholding this information from the CG₀ control group.

Operationalization of Dependent Variables

Achievement test. We developed and used a written achievement test based on classical test theory to assess experimental competencies. Compared with performance assessment methods (e.g. Klahr & Nigam, 2004), with interviews about conceptions on experimentation and inquiry strategies (Carey et al., 1989), and with computer-based tools with logfile-based data (e.g. Thillmann et al., 2009), paper-and-pencil tests show a lower level of validity (Germann et al., 1996) because they are not process-related and cannot represent the entire problem-solving process with all its required competencies and their interactions (Hammann et al., 2008). Nevertheless, we used a paper-and-pencil test in view of our big sample and limited resources (cf. Ehmer, 2008).

The test comprised four subtests consisting of 1–8 items (see Table 2):

- (1) The *design an experiment* subtest used a partial credit system (0–6 points) to measure the competencies of understanding and considering experimental controls within a two-factorial experiment. This assesses whether students correctly apply the variable-control strategy and compare results with a proper experimental control. The model of Ehmer (2008) and Hammann et al. (2008) was used as the basis for designing the open-response items and coding rules. The evaluation formula was refined to be able to more precisely measure performance differences. Only one item was used for pragmatic reasons (cf. Ehmer, 2008).
- (2) The operationalization of the competence *epistemic research questions* was based on criteria stated by Germann et al. (1996), Mayer et al. (2008), and Neber and Anton (2008). Open-response items measured the competence to formulate knowledge-generating and process-regulating questions which address causal links between independent and dependent variables. Our adaptation refers only to the type of formulation and does not account for prior knowledge. This assessment better suits the abilities of sixth graders. The partial credit system ranged from 0 to 4 points.
- (3) The *compare approaches* instrument was based on the preliminary work of Ehmer (2008) and Hammann et al. (2008) who called the competence *planning experiments*. Using multiple-choice items, the instrument measured the ability to identify from prespecified approaches the controls suitable for comparison in a two-factorial experiment (control-of-variable strategy). The coding was in accordance with the partial credit model (0–3 points) that assessed aspects of the selection strategy (e.g. ‘vary one thing at time’ or ‘hold one thing at time’).
- (4) The newly developed *judge the validity limitations of ecological experiments* subtest consisted of multiple-choice items with dichotomized coding (true/false) to measure the application of knowledge regarding the importance of large sample sizes and longer observation periods in experiments in ecological (sub-)systems.

In addition, the matrices subtest from part 1 of the CFT 20-R (Weiss, 2006) was used to measure *basic non-verbal intelligence*.

Table 2. *Scale Properties (main study)*

Subtest	Number (Items)	Measuring time			
		Pretest		Posttest	
		<i>n</i>	Cr. α	<i>n</i>	Cr. α
<i>Epistemic research questions</i>	3	331	.54	324	.62
<i>Compare approaches</i>	4	306	.45	309	.59
<i>Judge the validity limitations of ecological experiments</i>	8	280	.52	304	.65
<i>Sense of autonomy</i>	6	234	.64	233	.88

Note. *n* = scope of the partial sample; Cr. α = Cronbach's alpha.

Other dependent variables. We further asked the participants to report on a 6-point Likert scale the extent of openness, independence, and autonomy (adapted from Kunter, 2005) they experienced in the treatment. The items were also administered to participants in a control group. Additionally, the students in the treatment group described the effects of the learning environment on their attitudes and learning motivation.

Procedure

The sensitivity of the instrument was demonstrated in pilot studies in grades 6 and 9, and showed sufficient item variance. We then improved the treatment and the test method which was also re-tested. The main study was conducted in Spring/Summer 2010. After processing the achievement test and questionnaire, a multi-week period followed with approximately 13 school hours of teaching in all experimental conditions. Classes for the EXP treatment group were additionally held on two consecutive days at the nature conservation center, where employees implemented the program. The posttest took place around two weeks after the last teaching unit.

Data Analysis

We analyzed the data statistically using the statistic software PASW 18 and evaluated in accordance with the *per-fiat* principle using parametric tests (see below).

Results

Test Instruments

As expected, *reliability values* were higher in the posttest than in the pretest (cf. Table 2). The internal consistency of the achievement test subscales was sufficient for group comparisons. The moderate internal consistency of some scales can be attributed to the restriction in the number of items per subtest scale.

The *objectivity* of implementation was ensured through detailed instructions on data collection which was carried out by the participating teachers. We developed and optimized differentiated coding schemes for the objectivity of evaluation in the case of open-response items. The following information on the quality of coding conformity is based in each case on more than 35 double codings. As interval-scale level was assumed, both the mean values of the intraclass correlation (ICC_{2,1}) and the chance-adjusted measure of absolute agreement (Cohen's kappa) are specified as measures of agreement below $r = .82$ and Cohen's $\kappa = .63$ (*epistemic issues*); and $r = .98$ and Cohen's $\kappa = .95$ (*design an experiment*). Thus, the inter-coder agreement and reliability indicate acceptable to very good values.

In view of the *construct validity*, bivariate correlations among the experimental problem-solving ability variables with school marks (mathematics, natural science work, and German) and general cognitive abilities were calculated. The small

coefficients indicate that the dimensions can be differentiated and represent something other than technical achievement within the subjects or general cognitive abilities.

Hypothesis Testing

Effects of the treatment. The MANOVA analysis with univariate post hoc tests showed that the three student groups did not differ with respect to their general cognitive abilities and marks in mathematics. There were differences in relation to marks in German and the integrated subject *natural science work*. These variables were included in covariance analysis as covariates if they contributed significantly to the explained variance in competence development. The MANOVA analyses revealed that the three groups did not differ on the *experimental problem-solving ability* components reported at the time of the pretest, $F(10,598) = 0.96, p = .48$.

The posttest values in all groups (apart from several variables in the CG0 group) were higher in the achievement test than in the pretest (cf. Table 3). These findings suggest a learning effect from working with the test.

To clear up our first research question, we tested the directional hypothesis of differences in learning effects between the experimental groups by ANCOVAs with planned comparisons and the pretest values of the respective dependent variables as covariates. The treatment group was contrasted with the pooled results of the two comparison

Table 3. *Descriptive statistics and parameter estimations of the achievement test and one variable of the personality test (main study)*

Subtest	Group	n	Measuring time				ANCOVA	
			Pre-test		Post-test		Parameter estimation	
			M	SD	M	SD	M_b	SE
<i>Design an experiment</i>	EXP	120	1.56	1.52	2.13	1.84	2.15	0.15
	CG _{Eco}	93	1.58	1.74	1.73	1.79	1.74	0.17
	CG ₀	100	1.65	1.59	1.84	1.75	1.82	0.17
<i>Epistemic research questions</i>	EXP	120	1.01	0.67	1.31	0.86	1.31	0.06
	CG _{Eco}	93	1.10	0.64	1.14	0.77	1.17	0.07
	CG ₀	100	1.15	0.64	1.18	0.67	1.11	0.07
<i>Compare approaches</i>	EXP	120	1.70	0.70	1.97	0.72	1.97	0.07
	CG _{Eco}	91	1.72	0.62	1.79	0.78	1.78	0.08
	CG ₀	98	1.77	0.79	1.70	0.80	1.71	0.08
<i>Judge the validity limitations of ecological experiments</i>	EXP	118	0.45	0.25	0.46	0.27	0.46	0.02
	CG _{Eco}	92	0.39	0.22	0.43	0.24	0.45	0.03
	CG ₀	99	0.47	0.24	0.42	0.28	0.40	0.03
<i>Sense of autonomy</i>	EXP	124	2.59	0.90	3.14	1.04	3.09	0.11
	CG _{Aut}	111	2.24	0.97	2.61	1.38	2.68	0.11

Note. n = number of test subjects; M = mean value; SD = standard deviation; M_b = estimated adjusted mean value (corrected); SE = standard error.

groups CG_{Eco} and CG_0 . The pretest value covariate had a moderate to strong effect on the explained variance for all variables. The hypothesis that the scores of the treatment and the control groups would differ was confirmed for three of the four achievement variables, design an experiment: $F(1, 309) = 3.88, p < .05, \text{partial } \eta^2 > .01$; *epistemic research questions*: $F(1, 294) = 4.26, p < .05, \text{partial } \eta^2 > .01$, and *compare approaches*: $F(1, 304) = 6.75, p = .01, \text{partial } \eta^2 = .02$, but could not be confirmed for *judge the validity limitations of ecological experiments*: $F(1, 305) = 1.64, p = .20$.

In view of our second research question, the results of the questionnaire show that the treatment allowed the students more autonomy, independence, and openness in conducting experiments on their own compared with the control group participants as indicated from the ANCOVA analysis with the pretest scores as covariates: $F(1, 232) = 6.95, p < .01, \text{partial } \eta^2 = .03$. Although only a moderate effect size could be observed, this result suggests that the cognitive challenges were likely to be greater for the members of the treatment group compared with conventional teaching and learning in *natural science work*. In addition, the students in this group reported that getting to know the job from scientists and doing inquiry on their own were very motivating—as also the visit to the nature conservation center and the fieldwork activities.

Other Findings

Post hoc analyses showed that the significant differences between the treatment group and comparison groups on *design an experiment* and *formulate questions* variables are based on stronger competence development among girls. Girls' performance in *design an experiment* was better in the treatment group compared with the mean of the girls in the control groups—with a small to medium-grade effect size: $F(1, 130) = 4.57, p < .05, \text{partial } \eta^2 > .03$. Within the treatment group, the performance of the girls topped the mean of the boys with a medium-sized effect.

Discussion

In view of our first research question, we established that the treatment was effective in the most of the experimental problem-solving ability dimensions—in contrast to Ganser and Hammann's (2009) findings. In detail, the treatment promoted the competencies of generating epistemic questions, planning two-factorial experiments, and identifying appropriate experimental controls. Furthermore, with regard to our second research question, our moderately constructivist learning environment with phases of open inquiry increased the students' sense of autonomy, as expected.

Given the small number of students and teachers involved, and the use of written paper-and-pencil tests for learning assessments, the effectiveness of the treatment of the EXP group on competence enhancement needs to be viewed with caution. For example, we cannot completely control for factors that affect teaching effectiveness that are innate to the individual teachers involved. As we sampled the middle-grade secondary students in 'Realschulen', the present study could not clarify whether the

promotion concept would have been more successful in 'Gymnasien' (cf. Ehmer, 2008; Hof, 2011). We also have no evidence on effects in low-grade secondary schools ('Hauptschulen'). Because we had no other control groups with the specific promotion concept for experimental problem-solving ability within another domain, or in a less challenging context (which presumably causes less cognitive load), our study could not investigate the effectiveness of the treatment per se, respectively, within another domain or learning context.

The retrospectively detected difference in achievement levels between girls and boys is an explorative finding. Thus, our procedure does not allow any interpretation of possible causes concerning gender aspects of the teaching methods (cf., e.g. Goldstein, & Puntambekar, 2004).

Nevertheless, with regard to our study's findings—compared with the results of other investigations—there are grounds for the assumption that basic components of problem-solving ability could probably be acquired more easily in less challenging learning contexts (cf. Ehmer, 2008; Hof, 2011) and less complex domains (e.g. Ehmer, 2008; Ganser, & Hammann, 2009).

Similar to the findings of Prokop et al. (2007) and of Žoldošová and Prokop (2006b), the students of our treatment group reported an increase in their curiosity in several respects (e.g. doing inquiry on their own, gaining an insight into the 'scientists' world', nature conservation as a learning topic). This differs from the results of Žoldošová and Prokop (2006a), who did not find any differences in perceived curiosity (in view of the preferred motivational orientation) under similar experimental conditions amongst Slovakian sixth graders who participated in a field center course—compared with a control group with traditional classroom lessons.

Conclusions and Educational Implications

In view of earlier studies using less complex domains (e.g. Ganser & Hammann, 2009), our study's data show that experimental problem-solving ability can be promoted even in the complex domain of ecology as early as grade six in a challenging, problem-oriented context. We found that average ability sixth-grade science students do not need to be limited to less challenging, isolated contexts or less complex domains that were used in other studies (e.g. Ehmer, 2008; Ganser, & Hammann, 2009), in principle. Our moderately constructivist learning environment is interesting motivating for the students. Moreover, it not only promotes the students' experimental problem-solving ability at least as much as conventional competence-oriented *natural science work* lessons, but also allows more autonomy. Furthermore, the competency to formulate epistemic questions can be stimulated earlier than presumed (Neber & Anton, 2008: 10th-grade students). Nevertheless, the enhancement of experimental problem-solving ability that we find here is small—and smaller than that seen in other studies (e.g. Hof, 2011). This is particularly remarkable in view of the notable treatment effects observed by Ehmer (2008) in her short-term intervention with 'Gymnasium' students. Finally, sixth graders appear to be too young to be made aware of domain-specific aspects of validity and reliability in ecology experiments.

The investigated demanding SSI context covering the four competence areas (*epistemic methods/scientific inquiry, scientific content knowledge, decision-making, and communication about science*; KMK, 2005) seems to generate lots of cognitive load (cf. Kirschner et al., 2006) and thus might be consequently challenging for the promotion of basic inquiry skills in experimentation in classes of low or average performance. Therefore, we believe that domains that are less complex than ‘ecology’ and less-sophisticated SSI contexts would make more sense when introducing basic cross-domain competencies of experimental problem-solving ability more efficiently—especially in grades 1–6; considering the findings from Ganser and Hammann (2009) as well as from our study, we believe that the level of extraneous cognitive load should be reduced as much as necessary for the promotion of experimental problem-solving ability, if that is the center of attention. This is an important thought, for example, with regard to the ambitious goals and complex approaches in education for sustainable development.

Although we have observed that basic awareness for important validity issues in the domain of ecology was not enhanced within this sample, we consider that ecology is relevant for enhancing students’ awareness of certain aspects of experimental validity in complex living systems (cf. McBride et al., 2013)—however, in higher grades. Thus, we recommend incorporating this contextualization within a spiral curriculum when students have already acquired fundamental competencies of cognitive experimental inquiry skills. Our study’s findings seem to support the assumption that concepts concerning long-term observations and the size of random samples in biological systems are highly complex and abstract (cf. the results of Arnold et al., 2013). Teachers would need to invest more time with instructional efforts to enhance students’ competencies in this area, for example, planning more experiments with living animals or working with computer-based simulations in combination with metacognitive reflection and explicit training in methodological criticism.

Finally, on balance, our study’s results indicate that the didactic research in the field of promoting specific challenging components of experimental problem-solving ability needs to clarify the optimal method, school grade, and use of appropriate domains and learning contexts with moderate extraneous cognitive load—particularly for average or lower performing learning groups. Additionally, the findings from our intervention suggest the necessity of generating spiral curricula for the promotion of the comprehensive construct of experimental problem-solving ability.

Acknowledgements

This work was supported by the Office of research development and funding of the University of Education Ludwigsburg.

Disclosure Statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

References

- Amos, R., & Reiss, M. (2012). The Benefits of Residential Fieldwork for School Science: Insights from a five-year initiative for inner-city students in the UK. *International Journal of Science Education*, 34 (4), 485-511
- Arnold, J., Kremer, K., & Mayer, J. (2013). Wissenschaftliches Denken beim Experimentieren – Kompetenzdiagnose in der Sekundarstufe II [Experimentation and scientific reasoning – assessment of competencies in the upper high school level]. In D. Krüger, A. Upmeyer zu Belzen, P. Schmie-mann, A. Möller, & D. Elster (Eds.), *Erkenntnisweg Biologiedidaktik 11* (pp. 7-20). Kassel: Uni-versitätsdruckerei. Retrieved from <http://www.bcp.fu-berlin.de/biologie/arbeitsgruppen/didaktik/Erkenntnisweg/2012/Arnold.pdf?1362740309>
- Berkowitz, A. R. (1997). Defining environmental literacy: a call for action. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 78, 170-172.
- Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E., & Unger, C. (1989). 'An experiment is when you try it and see if it works': A study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 11, special issue, 514-529.
- Cutter-Mackenzie, A., & Smith, R. (2003). Ecological literacy: the missing paradigm in environmental education. *Environmental Education Research*, 9 (4), 497-524.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The "What" and "Why" of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behavior. *Psychological Inquiry*, 11 (4), 227-268.
- Ehmer, M. (2008). *Förderung von kognitiven Fähigkeiten beim Experimentieren im Biologieunterricht der 6. Klasse. Eine Untersuchung zur Wirksamkeit von methodischem, epistemologischem und negativem Wissen* [Promoting cognitive abilities with experimentation in grade six biology teaching. An investigation of the effectiveness of methodological, epistemological, and negative knowledge] (Doctoral dissertation, University of Kiel). Retrieved from http://eldiss.uni-kiel.de/macau/receive/dissertation_diss_00003034
- Ganser, M., & Hammann, M. (2009). Teaching competencies in biological experimentation. In M. Ham-mann, K. Boersma, & A. J. Waarlo (Eds.), *The nature of research in biological education: Old and new perspectives on theoretical and methodological issues: Proceedings of the VIIth Conference of European Researchers in Didactics of Biology (ERIDOB)* (pp. 377-394). Utrecht University. Utrecht: Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education.
- Germann, P. J., Aram, R., Odom, A. L., & Burke, G. (1996). Student performance on asking questions, identifying variables, and formulating hypotheses. *School Science and Mathematics*, 96 (4), 192-201.
- Goldstein, J., & Puntambekar, S. (2004). The Brink of Change: Gender in Technology-Rich Collabora-tive Learning Environments. *Journal of Science Education and Technology*, 13 (4), 505-522.
- Hammann, M., Phan, T. T. H., Ehmer, M., & Grimm, T. (2008). Assessing pupils' skills in experimenta-tion. *Journal of Biological Education*, 42 (2), 66-72.
- Hof, S. (2011). *Wissenschaftsmethodischer Kompetenzerwerb durch Forschendes Lernen. Entwicklung und Evaluation einer Interventionsstudie* [Science methodical acquisition of competency by inquiry based learning. Development and evaluation of an intervention study] (Doctoral disser-tation, Universität Kassel). Kassel: kassel university press.
- Hofstein, A., & Lunetta V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundation for the 21st cen-tury. *Science Education*, 88, 28-54.
- Keselman, A. (2003). Supporting inquiry learning by promoting normative understanding of multivariable causality. *Journal of Research in Science Teaching*, 40 (9), 898-921.

- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41 (2), 75-86.
- Klahr, D. (2000). *Exploring science. The cognition and development of discovery processes*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction. Effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, 15 (10), 661-667.
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (Ed.). (2005), *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004* [Resolutions from the National Conference of Ministers of Education. Education standards in biology for the fifth- to tenth-grade students. Resolution from 2004-12-16]. München, Neuwied: Wolters Kluwer.
- Kunter, M. (2005). *Multiple Ziele im Mathematikunterricht* [Multiple objectives in mathematics teaching] (Doctoral dissertation). Münster: Waxmann.
- Lunetta, V. N., Hofstein, A., & Clough, M. (2007). Learning and teaching in the school science laboratory: an analysis of research, theory, and practice. In N. Lederman & S. Abel (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 393-441). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Mayer, J., Grube, C., & Möller, A. (2008). Kompetenzmodell naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung [Competence model of scientific inquiry]. In U. Harms, & A. Sandmann (Eds.), *Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBiO, Essen 2007* (pp. 63–79). Innsbruck: Studien Verlag.
- McBride, B. B., Brewer, C. A., Berkowitz, & A. R. Borrie, W.T. (2013). Environmental literacy, ecological literacy, ecoliteracy: What do we mean and how did we get here? *Ecosphere*, 4 (5), art. 67. <http://dx.doi.org/10.1890/ES13-00075.1>
- Morrone, M., Mancl, K., & Carr, K. (2001). Development of a Metric to Test Group Differences in Ecological Knowledge as One Component of Environmental Literacy. *The Journal of Environmental Education*, 32 (4), 33-42.
- Muckenfuß, H. (1995). *Lernen im sinnstiftenden Kontext. Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts* [Learning in meaningful contexts. Draft of contemporary didactics of physics education]. Berlin: Cornelsen.
- Neber, H., & Anton, M. A. (2008). Promoting pre-experimental activities in high-school chemistry: Focusing on the role of students' epistemic questions. *International Journal of Science Education*, 30 (13), 1801-1821.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Orr, D. W. (1992). *Ecological Literacy: education and the transition to a postmodern world*. Albany: State University of New York Press.
- Parchmann, I., Graesel, C., Baer, A., Nentwig, P., Demuth, R., Ralle, B., & ChiK Project Group (2006). "Chemie im Kontext": A symbiotic implementation of a context-based teaching and learning approach. *International Journal of Science Education*, 28 (9), 1041-1062.
- Prenzel, M., Artelt, C., Baumert, J., Blum, W., Hammann, M., Klieme, E., Pekrun, R. (Eds.). (2007), *PISA 2006. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie* [PISA 2006. The results of the third international comparative study]. Münster: Waxmann.
- Prenzel, M., Sälzer, C., Klieme, E., & Köller, O. (Eds.). (2013), *PISA 2012. Fortschritte und Herausforderungen in Deutschland [PISA 2012. Progress and challenges in Germany]*. Münster, New York: Waxmann. Retrieved from http://www.pisa.tum.de/fileadmin/w00bgi/www/Berichtband_und_Zusammenfassung_2012/PISA_EBook_ISBN3001.pdf (2014-03-18).
- Prokop, P., Tuncer, G., & Kvasničák, R. (2007). Short-Term Effects of Field Programme on Students' Knowledge and Attitude Toward Biology: a Slovak Experience. *Journal of Science Education and Technology*, 16 (3), 247-255.
- Riess, W., & Mischo, C. (2010). Promoting Systems Thinking through Biology Lessons. *International Journal of Science Education*, 32 (6), 705-725.

- Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41 (5), 513-536.
- Schneider, W., Bullock, M., & Sodian, B. (1998). Die Entwicklung des Denkens und der Intelligenzunterschiede zwischen Kindern [The development of thinking and differences in intelligence amongst children]. In F. E. Weinert (Ed.), *Entwicklung im Kindesalter* (pp. 53-74). Weinheim: Beltz Psychologie-Verlags-Union.
- Shadish, W. R., Cook, T. D., & Campbell, D. T. (2002). *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Generalized Causal Inference*. Boston: Houghton-Mifflin.
- Smith, T. M., & Smith, R. L. (2009). *Ökologie [Ecology]*. 6th edition. München: Pearson Studium.
- Thillmann, H., Künsting, J., Wirth, J., & Leutner, D. (2009). Is it merely a question of “what” to prompt or also “when” to prompt? The role of point of presentation time of prompts in self-regulated learning. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23 (2), 105-115.
- Weiss, R. H. (2006). *Grundintelligenztest Skala 2 [Scale 2 basic intelligence test] (CFT 20-R)*. Göttingen: Hogrefe.
- Žoldošová, K., & Prokop, P. (2006a). Analysis of motivational orientations in science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 4 (4), 669-688.
- Žoldošová, K., & Prokop, P. (2006b). Education in the field influences children's ideas and interest toward science. *Journal of Science Education and Technology*, 15 (3), 304-313.

9.2.2 Kurzbeschreibungen der Lernmodule im Treatment EXP

Nachdem in den Abschnitten 6.3.3.3 und 6.3.3.4 (s. Abb. 6-3 und Tab. 6-2) bereits ein Überblick über die Struktur des Treatments EXP gegeben wurde und Abschnitt 6.3.3.5 ausgewählte didaktisch-methodische Besonderheiten vorgestellt hat, werden an dieser Stelle die einzelnen Lernmodule etwas ausführlicher erläutert¹³⁴. Die Ausführungen wurden im Rahmen dieser Veröffentlichung allerdings aus pragmatischen Gründen auf das Nötigste beschränkt. Die vollständigen Handreichungen der Hauptstudie für Lehrkräfte bzw. für die Mitarbeitenden des Naturschutzzentrums *Ruhestein* finden sich an anderer Stelle (s. Rösch, 2010 b, a).

Im Mittelpunkt der Darstellung stehen die Intentionen des jeweiligen Moduls sowie die Beschreibung und Begründung der konkreten didaktisch-methodischen, medial unterstützten Vorgehensweise.

Bereits am Anfang des Treatments sollen die Lernenden erkennen, dass verantwortliche Entscheidungen und vorausschauendes Handeln fundierter Argumentation bedürfen (vgl. Sadler, 2004, S. 522): Urteilsfähigkeit bei der Gestaltung unserer Umwelt (z. B. Kulturlandschaft) erfordert nicht nur Sachwissen und vernetzendes Denken, sondern auch die Fähigkeiten, Sachverhalte interdisziplinär zu betrachten, in Dialog und Kooperation mit anderen Menschen Entscheidungen mehrperspektivisch abzuwägen und Optionen zu gewichten, Zukunftsszenarien zu entwerfen, Zusammenhänge zu analysieren etc. (vgl. Hauenschild & Bolscho, 2005, S. 45 ff.). Hieraus wird deutlich, dass dem Bildungsbegriff nicht gerecht werden würde, wenn – wie bereits in Abschnitt 4.9 erwähnt – lediglich einer der Kompetenzbereiche *Fachwissen* oder *Erkenntnisgewinnung* überbetont werden würde. Die Intention, dass Lernenden die Komplexität von Entscheidungssituationen bewusst erfahren, ist daher Leitlinie des gesamten Konzepts. Dies sprach für die Einbeziehung der Kompetenzbereiche *Bewertung* und *Kommunikation* neben den Bereichen Forschenden Lernens per se, *Fachwissen* und *Erkenntnisgewinnung* (vgl. Abschnitt 4.9.6.4).

1. Lernmodul: „Eine schwierige Entscheidung“

Übergeordneter Kontext, der als roter Faden die gesamte Unterrichtseinheit in den Treatments EXP und SYS durchzieht (vgl. Rösch, 2010; Rösch, 2015; Rösch et al., 2012; Roesch et al., 2015; Vogel, Rieß & Nerb, 2011), ist ein Flächennutzungskonflikt. Er wird in dieser Stunde eingeführt. Sämtliche nachfolgende Lernmodule beziehen sich darauf und greifen ihn wieder auf. Die Lernenden werden anhand von Abbildung 9-1 (Overhead-Folie) mit einer Entscheidungssituation konfrontiert, in der sich die fiktive, in einem (Mittel-)Gebirge liegende Gemeinde „Sonnstein“ befindet¹³⁵:

¹³⁴ Da es sich um die Beschreibung eines Unterrichtskonzepts handelt, wurde als Tempus das Präsens verwendet.

¹³⁵ Im Hinblick auf das Naturschutzzentrum *Ruhestein* im Hochschwarzwald (inzwischen Nationalparkzentrum), das von den teilnehmenden Klassen im Rahmen des Treatments besucht wurde, ist das Dorf „Sonnstein“ in einem Mittelgebirge verortet; dessen fiktive Topographie weist Ähnlichkeiten mit der Situation am *Ruhestein* auf.

Für ein brachliegendes Grundstück, das in den Besitz der Gemeinde übergeht, soll nach einer längerfristigen, sinnvollen Nutzung gesucht werden. In diesem Zusammenhang sollen konkrete Gestaltungsgrundsätze für die Fläche entwickelt und festgelegt werden. Da sich das Grundstück in einem touristisch genutzten Gebiet befindet und sich die unmittelbare Umgebung durch bestimmte landschaftliche Besonderheiten auszeichnet, ist eine Vielzahl an vernünftigen Nutzungsalternativen und berechtigten Forderungen gegeben. Die Lernenden überlegen sich, welche Standpunkte die Mitglieder des Gemeinderats vertreten könnten. Dies ermöglicht, an die unterschiedlich ausgeprägten Vorerfahrungen und Schülervorstellungen anzuknüpfen und die Perspektivenvielfalt bei Entscheidungsprozessen aufzuzeigen. Das eingesetzte Medium wurde so gestaltet, dass die im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung relevanten Dimensionen *Ökonomie*, *Ökologie*, *Soziokultur* und *Politik* (vgl. Bolscho & Seybold, 1996, S. 65 ff.; Rieß, 2010 a, S. 27) gleichermaßen angesprochen und deren komplexe gegenseitige Bezüge problematisiert werden können – im Sinne eines ganzheitlich-integralen Nachhaltigkeitsverständnisses (vgl. Hauenschild & Bolscho, 2005, S. 33).

Im weiteren Verlauf der ganzen Unterrichtseinheit entwickeln die Lernenden als entdeckende „Forscher“ anhand diverser Experimente (Treatment EXP) bzw. systemischem Denken (Treatment SYS) eine eigene Meinung, welche Optionen der Gestaltung einer z. T. bewaldeten Brachfläche in einer touristisch genutzten Gebirgsregion aus ökologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Perspektive Sinn machen bzw. verantwortbar sind.

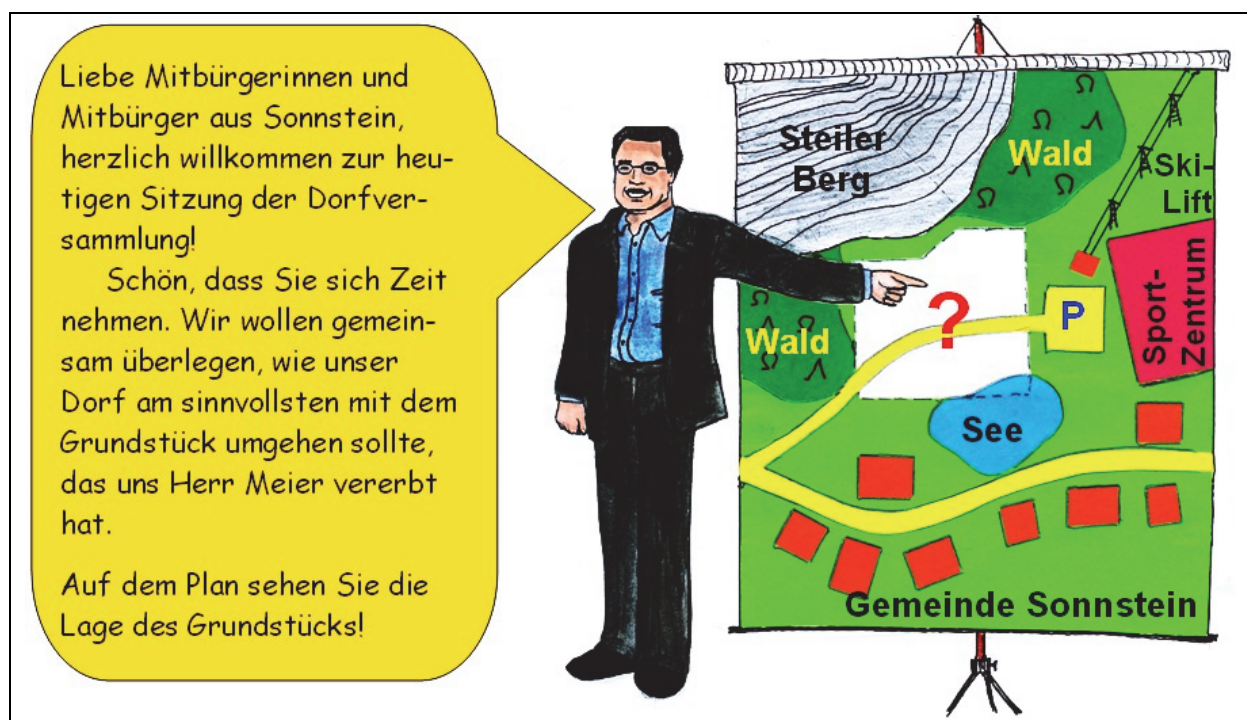


Abb. 9-1. Fiktiver Flächennutzungskonflikt in „Sonnstein“ als Lernkontext¹³⁶

Dieser Flächennutzungskonflikt eignet sich hervorragend als BNE-relevanter Unterrichtskontext, indem er erlaubt, verschiedene Themen aufzugreifen, die einen wertvollen Beitrag zur BNE leisten (vgl. Rieß, 2010 b, S. 11): u. a. Ökosystem Wald, aktiver Natur- und Umweltschutz durch nachhaltigen Tourismus, Bedeutung und Gefährdung der Biodiversität auf ihren unterschiedlichen Ebenen, Sicherung von Schutzwald (s. auch Abschnitt 6.3.3.5).

¹³⁶ Grafik: Kosan und Rösch (2009)

Im nächsten Schritt dieses ersten Lernmoduls wird eine Gestaltungsalternative exemplarisch herausgegriffen, die im weiteren Verlauf der Unterrichtseinheit im Mittelpunkt stehen wird: Die Option, die Brachfläche aufzuforsten. In arbeitsteiliger Gruppenarbeit überlegen sich die Lernenden für je einen Bereich (z. B. „Bedeutung für die Natur“, „Nutzfunktionen“, „Schutzfunktionen“ etc.) Argumente, die für die Nutzung der Fläche als Wald sprechen (vgl. Blank, 1999, S. 3 ff.). Auch hier wird auf das Vorwissen zurückgegriffen, und es findet ein Austausch statt. In der sich anschließenden Präsentationsphase stellen die einzelnen Gruppen ihre Ergebnisse vor und gestalten mit beschrifteten Karten auf einem großen Plakat mit stilisiertem Baum eine Art *Mindmap* zum Thema „Bedeutung des Waldes“ (vgl. Haufe, o. J., S. 25 ff.).

Eine weitere Overheadfolie gibt anschließend mögliche Argumentationstypen von Gemeinderatsmitgliedern in Form von Satzanfängen zu typischen Parolen in Sprechblasen wieder. Diese reichen von „Das ist einfach so ... – basta!“ über „Mein Nachbar sagt immer ...“ und „Wegen dem Tourismus ist es wichtig, dass ...“ bis hin zu „Inzwischen sieht die Wissenschaft das anders: ...“. Angeregt durch diese Impulse reflektiert die Lerngruppe, wodurch sich qualitativ hochwertige, sachliche Argumente auszeichnen. Dabei wird deutlich, dass gezielte, systematische Untersuchungen, die wissenschaftlichen Gütekriterien erfüllen, das geeignete Mittel darstellen, zu tragfähigen Erkenntnissen zu gelangen (vgl. Ehmer, 2008, S. 74 f.; Moisl, 1988; Otteni in Spörhase & Ruppert, 2010, S. 77 ff.; Puthz, 1988). Als Ausblick kündigt die Lehrkraft mithilfe einer entsprechenden Overhead-Folie an, dass der Bürgermeister die Einsetzung einer Kommission wissenschaftlicher Gutachter zur Klärung offener Sachfragen in der Nutzungsdebatte vorschlägt. Die Lernenden sollen erläutern, woran man seriöse Experten erkennen kann. Die Erkenntnis, dass die Güte der Wissensgewinnung für die Bewertung der Wissenschaftler ausschlaggebend ist, verweist logisch auf die Notwendigkeit, sich selbst mit (natur-) wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsmethoden auseinanderzusetzen.

2. Lernmodul: „Lebewesen und ihre Umwelt“

In Anlehnung an den im vorausgehenden Lernmodul vorgestellten Flächennutzungskonflikt schildert die Lehrperson den Vorschlag eines Gemeinderats, auf der Fläche doch vom Aussterben bedrohtes Auerwild (*Tetrao urogallus*) wiederanzusiedeln und somit einen sinnvollen Beitrag zum Naturschutz bzw. zur Erhaltung der Artenvielfalt zu leisten. Unterstützt durch den Impuls einer Auerhahn-Abbildung vor freiem Hintergrund auf Overhead-Folie reflektieren die Lernenden, dass für solch eine Entscheidung Wissen über die Lebensweise und Ansprüche der Art notwendig ist. Sie bringen aufgrund ihrer Vorerfahrungen (z. B. mit Haustieren) zur Sprache, dass es sowohl günstige als auch schädliche Umwelteinflüsse gibt, die sich auf Organismen auswirken können. Die Lehrperson erläutert, dass diese Zusammenhänge Gegenstand einer bestimmten naturwissenschaftlichen Forschungsrichtung, der Ökologie, sind. Hierzu wird später eine schülergerechte Definition entwickelt und schriftlich festgehalten. Gemeinsam wird überlegt, auf welche Weise Ökologen zu Erkenntnissen gelangen könnten.

Anstelle realer Beobachtungen und Untersuchungen aus erster Hand ist die Lerngruppe in diesem Fall auf die Forschungsergebnisse anderer Wissenschaftler angewiesen, die im Folgenden audiovisuell dargeboten werden¹³⁷. Arbeitsteilig filtern die Lernenden relevante Informationen zu Wechselwirkungen zwischen Auerwild und biotischen bzw. abiotischen Umweltfaktoren aus einem Filmausschnitt heraus (Video „Noch balzt er“). Bei der nachfolgenden Darstellung der Ergebnisse auf einem Arbeitsblatt achtet die Lehrkraft darauf, dass ausschließlich lineare Beziehungen und keine ‚systemischeren‘ Betrachtungsweisen (z. B. Rückkoppelungen, multiple oder vernetzte Wirkungen) zwischen Lebewesen und Umwelt festgehalten werden. Dieses Procedere ist als methodische Abgrenzung zum Treatment SYS notwendig.

¹³⁷ In späteren Lernmodulen hatten die Lerngruppen Gelegenheit, reale ökologische Untersuchungen und Experimente durchzuführen, wie weiter unten noch ausgeführt werden wird.

Zur Übung und Vertiefung der in dieser Stunde geförderten Kompetenzen und Domänenkenntnisse (Wechselwirkungen zwischen Organismen und ihrer Umwelt zu analysieren, zwischen biotischen und abiotischen Faktoren zu differenzieren und die Angemessenheit von konkreten Standorten zu reflektieren¹³⁸) wird im Anschluss bzw. als Hausaufgabe¹³⁹ ein Arbeitsblatt bearbeitet. Dieses thematisiert ökologische Aspekte des Waldveilchens (*Viola reichenbachiana*). Offene Aufgabenstellungen regen dabei problemlösendes Denken an und ermöglichen Reorganisations- und Transferleistungen.

3. Lernmodul: „Stockwerke des Waldes“

In der fiktiven Gemeinderatsdebatte des ersten Lernmoduls wurde der Lerngruppe nicht nur deutlich, dass eine Aufforstung des Brachgeländes lediglich eine unter vielen Optionen ist, sondern auch, dass unterschiedliche Interessen selbst hinter dieser einen Maßnahme stehen können. In Form eines stummen Impulses wird an diese Einsichten angeknüpft. Auf einer Overhead-Folie sind zwei Fotos abgebildet: eine recht monoton anmutende Fichtenschonung sowie ein reich strukturierter Mischwald. Sprechblasen auf der Folie lassen erkennen, dass die Art der Anlage eines Waldes auf dem Grundstück Streitpunkt zwischen Gemeinderäten ist. Die Lernenden tauschen sich über die zugrundeliegenden Standpunkte aus, die sich entweder für die Gestaltung eines Wirtschaftsforstes oder eines naturnahen Waldes sprechen. Dabei kommen Vorzüge und Nachteile zur Sprache, die aus der jeweiligen (ökonomischen bzw. ökologischen bzw. soziokulturellen) Perspektive relevant sind. Wird von Lernenden behauptet, eine strukturreichere Gestaltung von Wäldern sei aus ökologischen Gründen vorteilhaft für die Biodiversität¹⁴⁰, so stuft die Lehrperson dies zunächst als Vermutung ein, die es naturwissenschaftlich zu überprüfen, zumindest argumentativ zu untermauern gelte. Den Lernenden wird bewusst, dass hierfür weiteres Wissen und die Kenntnis von Fachtermini als nützlich bzw. notwendig erscheinen, um besser und nachvollziehbar beschreiben und argumentieren zu können.

Anhand eines Arbeitsblattes erarbeitet sich die Lerngruppe in Partnerarbeit den „Stockwerkbau“ von Wäldern samt fachsprachlicher Bezeichnungen. Überdies lernen die Schüler Charakteristika der einzelnen „Schichten“ kennen und ordnen diesen „Stockwerken“ typische tierische Bewohner und Pflanzen(teile) zu.

In einem abschließenden Unterrichtsgespräch sind die Lernenden aufgefordert, Hypothesen zu Zusammenhängen zwischen Struktureichtum eines Lebensraums und Artenvielfalt naturwissenschaftlich zu begründen. Vermutungen zu mikroklimatischen Unterschieden zwischen den „Stockwerken“ werden während des ersten Aufenthalts am Naturschutzzentrum im Rahmen von Modul II als Ausgangspunkt von hypothesen-geleiteten Untersuchungen herangezogen.

Als Zeitpuffer stehen zwei alternative¹⁴¹ Arbeitsblätter zur Verfügung. In einem Suchbild sind jeweils Tiere in der Umgebung von Bäumen zu entdecken, das von diesen jeweils hauptsächlich bewohnte „Stockwerk“ soll als Wiederholung benannt werden. Im Fall des schwierigeren Arbeitsblattes sollten sich die Lernenden überlegen, weshalb im selben Waldökosystem viele Vogelarten koexistieren können.

¹³⁸ Im Sinne einer didaktischen Reduktion wurden angesichts der Stichprobe und aus pragmatischen Gründen lediglich exemplarische autökologische, demökologische und biozöologische Aspekte thematisiert (was ja die Bandbreite ökologischen Erkenntnisinteresses nicht erschöpfend abdeckt).

¹³⁹ Im letztgenannten Fall beginnt die nachfolgende Stunde mit einer kurzen Besprechung der Ergebnisse.

¹⁴⁰ Daneben gibt es noch weitere Vorteile (z. B. Widerstandskraft gegenüber Schädlingskalamitäten, Wetterextremen, Klimaveränderung; Landschaftsästhetik etc.), die je nach Vorwissen unter Umständen von den Lernenden erwähnt werden könnten.

¹⁴¹ Hiermit soll die Möglichkeit zur Binnendifferenzierung bei leistungsheterogenen Klassen eröffnet werden.

4. Lernmodul: „Nährstoffe im Recycling-Kreislauf“

Als Impuls wird anhand einer Overhead-Folie ein Phänomen vorgestellt, das mit dem Flächen-nutzungskonflikt in Verbindung gebracht werden kann und die Komplexität von Systemen zu veranschaulichen vermag. Der Bürgermeister von „Sonstein“ schlägt dabei vor, auf dem Brachgelände Totholz, Laubstreu und organischen Bestandsabfall wegzuräumen sowie das Gras regelmäßig zu mähen und das Heu abzutransportieren: Auf diese Weise komme die dort befindliche Ruine für Touristen besser zur Geltung. Ein Mitglied des Gemeinderats gibt zu bedenken, dass man in einem vergleichbaren Fall über einen längeren Zeitraum ein lang-sameres Pflanzenwachstum und die Abwanderung von Tieren beobachtet habe.

In Gruppen überlegen sich die Lernenden, wie das Phänomen zu erklären sein könnte und welches ihre eigene begründete Meinung zum Vorschlag des Bürgermeisters ist. Nach einer Austauschrunde schlagen sie in einem Klassengespräch Möglichkeiten vor, welche naturwissenschaftlichen Untersuchungen ihrer Meinung nach Antworten zu den aufgewor-fenen Fragestellungen liefern könnten.

Da diese Ideen nicht direkt umgesetzt werden können, setzen sich die Schüler im Rahmen eines Gruppenpuzzles¹⁴² arbeitsteilig mit biologischen Erkenntnissen zum Stoffkreis-lauf in Verbindung mit den drei Hauptorganismengruppen (Produzenten, Konsumenten und Destruenten/Mineralisierer) auseinander und tragen in Stammgruppen die Ergebnisse zusam-men. Dort werden diese auf einem vorstrukturierten Arbeitsblatt festgehalten.

Nach einer Besprechung im Klassenverband bearbeiten die Lernenden zur Übung und Vertiefung in Gruppenarbeit weitere Aufgaben, die sich mit Totholz, dem Stoffkreislauf und unterschiedlich umfangreichen Nahrungsketten befassen. Da es sich um vergleichsweise einfache Arbeitsaufträge handelt, bei denen Wissen lediglich in eigenen Worten reproduziert oder reorganisiert werden muss, erfolgt der Vergleich mit korrekten Lösungen in Selbstkon-trolle anhand ausgelegter Musterlösungen.

Am Ende dieser Stunde ist es allen Lernenden möglich, die zu Beginn vorgeschla-genen Eingriffe in das Ökosystem zu beurteilen und mögliche Folgen begründet zu antizipieren und zu beurteilen. Die Lehrperson gibt Informationen zum nachfolgenden Ausflug ans Natur-schutzzentrum und stellt in Aussicht, dass die Erkenntnisse der vergangenen Stunden vor Ort in vergleichbarer Weise angewandt und weiter vertieft werden. Der Ausblick auf die eigene „Forscher-Tätigkeit“ der Lernenden soll diese motivieren.

Erster Aufenthalt am Naturschutzzentrum

Im Anschluss an die ersten vier Lernmodule (Schulstunden) begeben sich die Klassen der Treatmentgruppen EXP und SYS¹⁴³ an das im Hochschwarzwald gelegene Naturschutzzent-rum *Ruhestein* (heute: vorübergehend Nationalparkzentrum). Der Einbezug dieses außer-schulischen Lernorts sowie die Rahmung der Treatment-Hauptphasen durch zwei eintägige Aufenthalte am *Ruhestein* wurde aus mehreren Gründen von den Mitgliedern der Teams der

¹⁴² Auf diese Methode kooperativen Lernens, die auch unter der Bezeichnung „Jigsaw“ bekannt ist, kann in dieser Arbeit nicht näher eingegangen werden – es sei auf Schmiemann (in Spörhase & Ruppert, 2010, S. 186 – 189) verwiesen.

¹⁴³ Die Programme der Gruppe EXP und der Gruppe SYS am Naturschutzzentrum weisen am ersten Aufenthalt infolge der starken inhaltlich-methodischen Parallelisierung (s. Abschnitt 6.3.3.3) viele Gemeinsamkeiten auf (v. a. hinsichtlich der Module II und III). Die Gruppe SYS thematisiert anstelle des EXP-Moduls I die Vernetzung von Nahrungsbeziehungen und anderen Wechselbeziehungen zwischen Organismen in Form eines Spiels. Am zweiten Tag unterscheiden sich die Programme der beiden Treatments jedoch stark. Letztgenannter Sachverhalt resultiert aus dem Sachverhalt, dass der spätere Aufenthalt der Anwendung von in der vorausgehenden Treatment-Hauptphase entwickelten unterschiedlichen Kompetenzen gewidmet ist. Insofern stehen in der Gruppe EXP Modellexperimente zu Schutzfunktionen des Waldes im Mittelpunkt (s. u.), während sich die Lernenden der Gruppe SYS mit Biotopstrukturen befassen, die Zusammensetzung der Baumarten anhand der Transekt-Methode ermitteln und mithilfe eines Planspiels die Komplexität des Flächennutzungskonflikts und die Bedeutung nachhaltiger Forst-wirtschaft simulieren.

Kooperationsstudie mit SYSDENA beschlossen¹⁴⁴ (vgl. Berck, 2005, S. 193 ff.; Killermann, Hiering & Starosta, 2008, S. 94 ff.; Mayer in Gropengießer & Kattmann, 2006, S. 414 ff.):

- Lage und Umgebung des Naturschutzzentrums *Ruhestein* weisen zahlreiche Ähnlichkeiten zu den Verhältnissen der fiktiven Gemeinde „Sonnstein“ auf: Touristische Angebote wie Wanderwege und Skisport-Anlagen, hügelig bis bergige Landschaft mit Wald (bzw. Forst) und Grünflächen. Dies ermöglicht Vergleiche zwischen den realen und fiktiven Gegebenheiten. Die Gegend am *Ruhestein* eignet sich hervorragend, um die unterschiedlichen ökologischen, ökonomischen und soziokulturellen Perspektiven aufzugreifen und zu problematisieren.
- Die theoretisch erarbeiteten ökologischen Grundbegriffe und -konzepte können unmittelbar anhand eigener direkter Anschauung und selbstständiger Untersuchungen handlungsorientiert im Original ‚erkannt‘, angewandt und erweitert werden.
- Organismen können in authentischer Umwelt erlebt und untersucht werden (vgl. Antunes, Goncalves, Almeida, Goncalves & Pereira, 2008, S. 184), was für ein angemessenes Naturverständnis unerlässlich ist (vgl. Killermann et al., 2008, S. 271). U. a. können die Lernenden Zusammenhänge zwischen Standorteigenschaften und Dispersion von Arten entdecken. Wie Studien ergeben haben, kommen bei solchen unmittelbaren Lernprozessen an originalen Orten bessere Lernprozesse zu ökologischen Themen zustande als im Klassenzimmer (vgl. Killermann et al., 2008, S. 97). Hierbei spielen fachgemäße Denk- und Arbeitsweisen eine herausragende Rolle. Diese können an ‚Originalschauplätzen‘ eingeübt werden. Dabei entdecken die Lernenden die Arbeit ‚echter‘ Naturwissenschaftler propädeutisch (vgl. Köhler, 2008 a, S. 141; Langlet in Gropengießer & Kattmann, 2006, S. 67 ff.). Eine wichtige Rolle spielen in diesem Zusammenhang problembasierte „Forschungsaktivitäten“ (vgl. Unterbruner in Gropengießer & Kattmann, 2006, S. 144), die von den Lernenden in Form gelenkten Entdeckens selbstständig geplant werden. Dies ermöglicht insgesamt ein größeres Autonomieerleben, als es Lernen im Klassenzimmer gestatten würde.
- Die Freilandarbeit ermöglicht Primärerfahrungen, Originalbegegnung und erlebnisorientierte Einblicke in reale Kontexte – dies steigert aufgrund mehrkanaliger Aufnahme die Eindrücklichkeit und das Erleben von Bedeutsamkeit. Insofern können Lern- und Behaltensprozesse begünstigt werden (vgl. Killermann et al., 2008, S. 94, 97).
- Da die teilnehmende Altersgruppe Studien zufolge noch relativ stark an Tieren, Pflanzen und Naturschutz als ältere Lernende interessiert ist (vgl. Berck, 2005, S. 86 ff.), stellt die Exkursion eine an sich reizvolle, motivierende Unternehmung dar.
- In Verbindung mit kooperativen Arbeitsformen werden auf diese Weise affektive und soziale Komponenten des Lernens angesprochen, was der Lernmotivation zugutekommen kann (vgl. Gropengießer, Kattmann & Krüger, 2010, S. 54 f.; Walpuski, 2006, S. 10).
- Erfahrungsgemäß sind Lernende für Exkursionen an interessante, nicht gewohnte außerschulische Lernorte sehr empfänglich. Methodische Abwechslung, Authentizität und neue Eindrücke wirken sich positiv auf die Motivation und das Interesse aus (vgl. Mayer in Gropengießer & Kattmann, 2006, S. 414).
- Das so genannte „Waldklassenzimmer“ beherbergt im nahen Umfeld des Naturschutzzentrums *Ruhestein* viele interessante Plätze und Phänomene, die botanische, zoologische und v. a. ökologische Aspekte eindrucksvoll veranschaulichen. Gerade auch Naturschutzaspekte wie die Folgen von anthropogenen oder natürlichen Eingriffen in

¹⁴⁴ Diese Argumente besaßen mehr Gewicht als der nicht zu unterschätzende organisatorische Aufwand für die beteiligten Klassen, die Mitarbeiter des Naturschutzzentrums sowie das Projektteam der Kooperationsstudie – im Rahmen der Hauptstudie wurden überdies Studierende eines Seminars an der Betreuung mancher großer Lerngruppen am Naturschutzzentrum beteiligt (vgl. Mayer in Gropengießer & Kattmann, 2006, S. 414).

den Lebensraum Wald können dort illustriert und unmittelbar erlebt werden (vgl. Mayer in Gropengießer & Kattmann, 2006, S. 426 f.).

- Auf engem Raum können dort vergleichende Untersuchungen in naturnahen Wäldern und Fichtenmonokulturen angestellt werden. Ein Teil des „Waldklassenzimmers“ liegt in einem Naturschutzgebiet; auf einer Seite grenzt die Schwarzwaldhochstraße an.
- Das Naturschutzzentrum bietet die Infrastruktur, in unmittelbarer Nähe zum Ökosystem weitere Analysen unter Einsatz von Geräten und Materialien durchzuführen. Es stehen Wasser- und Stromanschluss sowie zahlreiche Präsentationsmöglichkeiten zur Verfügung. Überdies sind dort bei schlechtem Wetter¹⁴⁵ Programmalternativen möglich.
- Die Mitarbeitenden des Naturschutzzentrums können als Fachleute in Sachen Naturschutz angesehen und von den Schülern diesbezüglich befragt werden. Überdies bringen sie durch ihre naturpädagogische Ausbildung und langjährige Erfahrung mit ‚alternativen‘ Lernangeboten in dieser außerschulischen Bildungseinrichtung wichtige Voraussetzungen mit, die außergewöhnliche Lernumgebung attraktiv mitzugestalten.
- Lernen findet am Naturschutzzentrum letztendlich in einem vollkommen authentischen Kontext statt – mit dem großen Vorteil, dass der Nutzen der erworbenen Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten erkannt wird und im Idealfall zu gesteigertem Kompetenzerleben, zu positiven Selbstwirksamkeitserfahrungen führt. Überdies können auf Seiten der Lernenden durch die Interessantheit des Lernorts weitere Fragen aufgeworfen werden – eine Chance für die Aufrechterhaltung und Steigerung des Interesses (vgl. Gebhard in Gropengießer & Kattmann, 2006, S. 162 f.). Den Lernenden wird durch Anschaulichkeit, Primärerfahrungen, Authentizität und Problemorientierung ermöglicht, sich auf den komplexen Lerngegenstand und somit auf die Auseinandersetzung mit inhaltlichen und methodischen Aspekten einzulassen (vgl. Sadler, 2004, S. 523).

Über einen langen Zeitraum (ca. 9 Uhr bis 15.30 Uhr) ist somit eine intensive und motivierende Beschäftigung mit dem Lerngegenstand möglich. Ziel bei der Konzipierung des Programmes war erstens, die Lehr-Lernprozesse an der Schule und am außerschulischen Lernort lückenlos und kumulativ miteinander zu verknüpfen (vgl. Lehnert & Köhler, 2012 a, S. 183), zweitens die Treatment-Hauptphase vorzubereiten, in der die kontextbezogene Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Fokus steht, sowie drittens eine problemorientierte Lernumgebung zu schaffen, in der die Lernenden naturwissenschaftliche Forschung propädeutisch erfahren und eigenständig praktizieren können.

Nach der Begrüßung durch eine Mitarbeiterin des Naturschutzzentrums erhält die Lerngruppe eine kurze Information über das Naturschutzzentrum, dessen Auftrag, das Gelände, die Zielsetzung und den Ablauf des Tages sowie eine Instruktion hinsichtlich der Verhaltensregeln (vgl. Mayer in Gropengießer & Kattmann, 2006, S. 423 f.). Über den Tag verteilt schließen sich die drei NaZ¹⁴⁶-Lernmodule an, die in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben werden.

NaZ-Modul I wird die Lerngruppe im Plenum in die Logik des hypothetisch-deduktiven Verfahrens eingeführt. Der unverzichtbare Bezug von Theorie und Empirie zur Gewinnung von Erkenntnissen (s. Zitat unten), die Bedeutung von Hypothesen, abgeleiteter Prognosen, deren Überprüfung und Revision im Fall einer Falsifikation durch Evidenz soll dabei erarbeitet werden. Das Procedere, aus (inter-)subjektiven Theorien Hypothesen zu begründen, Vorhersagen über Effekte von Eingriffen in (Sub-) Systeme abzuleiten, eine geeignete Untersuchung

¹⁴⁵ Die Mittelgebirgsregion zeichnet sich durch hohe Niederschlagshäufigkeit und -mengen sowie große Temperaturdifferenzen im Vergleich zum Tiefland bzw. durch Temperaturschwankungen aus.

¹⁴⁶ Abkürzung für **NaturschutzZentrum**

durchzuführen und tatsächliche mit vermuteter Beobachtung zu vergleichen, um die Wahrscheinlichkeit der Hypothesen-Gültigkeit zu beurteilen, steht hierbei im Mittelpunkt. Damit wird die Basis für die anschließenden Lernmodule im Treatment EXP gelegt.

*„It does not matter how beautiful your theory is.
If it does not agree with experiment, it is wrong.“*

(Richard P. Feynman, zit. nach Reitingner, 2013, S. 160)

In Anlehnung an das Modell der *Random Access Instruction* (vgl. Meixner & Müller, 2004, S. 31 ff.) wird ein besonders anschauliches und leicht nachvollziehbares Lernangebot eingesetzt: Damit die Schüler die Besonderheiten naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung durch Experimentieren kennen lernen, wurde ein Phänomen ausgewählt, das auf eine überschaubare Anzahl gut untersuchbarer Variablen eingrenzbar ist. Wie in den Abschnitten 7.3.1 und 7.8.1 angesprochen, handelt es sich um das Pendel-Problem nach Piaget¹⁴⁷ (vgl. Montada in Oerter & Montada, 1998, S. 540 ff.) wird in einer neuartigen Lernsequenz thematisiert (s. auch Rösch, 2012): Die Mitarbeiterin des Naturschutzzentrums präsentiert eine „*black box*“ mit kleinem Sichtfenster, das von den Lernenden aus einzusehen ist. Den Schülern wird in einem ersten Schritt ein langsam schwingendes Pendel gezeigt – sichtbar ist ausschließlich die Bewegung des Fadens, also nicht das Massestück. Überdies wird die Abdeckung des Sichtfensters erst entfernt, wenn sich das Pendel bereits in Bewegung befindet. Die Lernenden haben demnach keine Information, von wo aus und wie das Pendel in Schwingung versetzt wurde. Zuerst sollen sie beschreiben, was sie sehen. Die Lerngruppe überlegt sich dann auf einen Impuls hin, welche Fragen sich ein Naturwissenschaftler angesichts dieser Beobachtung stellen könnte, welche Untersuchungen angestellt werden könnten, um diese zu klären. Hierbei wird erstmals von Seiten der Lernenden die Frequenz des Pendels angesprochen. Das Sichtfenster wird anschließend verdeckt. In einem zweiten Schritt präsentiert die Mitarbeiterin nach einer raschen „Umbauphase“ ein schnell schwingendes Pendel. Die Lerngruppe wird angehalten, die Beobachtung zu beschreiben, das Gesehene mit dem Vorherigen zu vergleichen und wiederum naturwissenschaftliche Fragen zu formulieren. Hierbei tauchen bereits recht unterschiedliche Typen von Fragen, darunter auch epistemische sensu Neber und Anton (2008) auf.

Diese Fragen sind Ausgangspunkt, das (möglicherweise) zyklische *Procedere* der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung, den *inquiry cycle* (vgl. Abschnitt 2.2), zu erarbeiten. In Gruppenarbeit oder im Plenum werden ausgelegte Karten mit Schritten bzw. Phasen des hypothetisch-deduktiven Verfahrens in eine sinnvolle Reihenfolge gebracht und auf einer Pinnwand fixiert. Anschließend ordnen die Lernenden den einzelnen Schritten Piktogramme zu¹⁴⁸. Indem die Schüler diese Zuordnung begründen, werden die Charakteristika und die Logik der einzelnen Phasen in eigenen Worten nochmals verbalisiert und zusammengefasst.

¹⁴⁷ Tatsächlich handelt es sich hierbei nicht um ein Experiment aus dem ökologischen Kontext (vgl. Abschnitte 7.3.1 und 7.3.2) – was an sich ja vorzuziehen wäre, um die Domäne *Ökologie* durchgehend heranzuziehen. Ausschlaggebend für die Auswahl dieses Phänomens war neben der Einfachheit von Aufbau und Durchführung, der Unmittelbarkeit der Beobachtungen und der überschaubaren Anzahl von offensichtlichen Variablen der Sachverhalt, dass mit Sicherheit falsche Hypothesen formuliert und falsifiziert werden können. Das Pendel-Problem eignet sich im Rahmen eines kontraintuitiven *Black box*-Experiments (vgl. Abschnitte 7.8.1 und 7.8.2) insofern hervorragend, auch die Revision von Hypothesen zu thematisieren. Außerdem lässt sich anhand eines Alltagsphänomens aufzeigen, dass selbst das Verwerfen von Theorien einen Erkenntnisgewinn darstellt, weil Fehlvorstellungen erkannt und abgelegt werden können. Damit verbunden ist die Einsicht, dass eine voreilige Einengung des Hypothesensuchraums (vgl. Klahr, 2000) von Nachteil ist (s. auch Ehmer, 2008, S. 31 f.) und die Notwendigkeit besteht, weitere unabhängige Variablen hinsichtlich der Beeinflussung interessierender abhängiger Variablen zu betrachten.

¹⁴⁸ Vergleichbare Prozessdiagramme finden sich u. a. bei Walpuski (2006). Im Einzelbeitrag von Rösch (2012, S. 21 f.) sind das Material und die Struktur des *inquiry cycle* abgebildet.

Nun soll der Erkenntnisgewinnungsprozess im konkreten Kontext des Pendel-Phänomens¹⁴⁹ durchlaufen werden. Zuerst in Gruppengesprächen und später im Unterrichtsgespräch überlegen sich die Lernenden, welche veränderlichen Größen beobachtet werden und in ihrer Ausprägung sogar exakt gemessen werden könnten und welche Faktoren in dem System (hier: *Black box*) ‚im Geheimen‘ verändert oder gleich gehalten worden sein könnten, bestimmen also abhängige und unabhängige Variablen. Auf Zetteln werden stichwortartig vermutete Ursachen festgehalten. Überdies machen sich die Lernenden Gedanken, mit welchen Materialien, Geräten und Vorgehensweisen die Vermutungen überprüft werden könnten (vgl. Stäudel, Werber & Freiman, 2004, S. 27, 58). Die Naturschutzzentrum-Mitarbeiterin sammelt von den Gruppen die Zettel zu möglichen Ursachen ein und bildet an einer Pinnwand Cluster – einige unabhängige Variablen werden erfahrungsgemäß mehrfach genannt. Sie führt an dieser Stelle die instruktionale Hilfe der „Werkzeugkiste“ (vgl. Abschnitt 6.3.3.5) ein, welche die Prozessregulation sowie die Einführung und den systematischen Umgang mit den Variablen(-typen) begünstigen soll. Von allen unterschiedlichen genannten möglichen Ursachen wird je ein Zettel genommen. Diese Zettel kommen in das größte Abteil der Werkzeugkiste, das mit „veränderbare Größen“ (gleichzusetzen mit unabhängigen Variablen) beschriftet ist (s. Abb. 9-2).

Schritt für Schritt wird nun die Erkenntnisgewinnung anhand des zuvor erarbeiteten schematischen *inquiry*-Zyklus‘ explizit durchlaufen. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Phasen des Hypothesen-Testens gelegt (vgl. Lawson, 2003, S. 1391). Nachdem per Handabfrage geklärt wurde, welche Größe von den meisten Lernenden als Ursache vermutet wird, nimmt die Unterrichtende den Zettel mit „Masse des Wägestücks“ aus dem Abteil „veränderbare Größen“ heraus und legt sie in ein kleines Abteil, das mit „Testgröße“ beschriftet ist (s. Abb. 6-7 und 9-2). Die Lernenden sollen diese Bezeichnungen erläutern.

Die didaktische Entscheidung, aus den Schülervorschlägen zu potenziellen ursächlichen unabhängigen Variablen zuerst häufig beobachtbare *Fehl*vorstellungen (z. B. die Masse des Wägestücks als besonders prominentes Präkonzept) herauszugreifen und die Lernenden diese vor allen anderen untersuchen zu lassen, bevor die Hypothese mit der korrekten Testgröße (Länge des Pendelfadens) geprüft wird, ist aus – mindestens – vier Gründen sinnvoll: *Erstens* unterstützt eine solche Reihenfolge in einem „kontraintuitiven Experiments“ (Haider & Hartinger, 2010, S. 4) den kontextuellen Konzeptwechsel (vgl. Lawson, 2003, S. 1400) und das Bewusstsein für die Notwendigkeit einer Hypothesenrevision bei deren Widerlegung der Vermutung durch das tatsächliche Messergebnis (vgl. Ganser & Hammann, 2009a, S. 39; Hammann et al., 2006): Die Masse des Pendelgewichts ist – entgegen der Annahme, die aus ‚Alltagstheorien‘¹⁵⁰ abgeleitet wurde – nicht für die Veränderung der Frequenz verantwortlich. *Zweitens* veranschaulicht diese Vorgehensweise den Zweck des Experimentierens – nämlich die Prüfung von Hypothesen im Zusammenhang von Kausalzusammenhängen (vgl. Carey et al., 1989). Dies kann einen wichtigen Beitrag beim Aufbau eines adäquaten Verständnisses des Experiment-Konzepts leisten. *Drittens* zeigt sich – v. a. den Lernenden, die falsch ‚getippt‘ haben, wie bedeutsam es ist, den Hypothesensuchraum nicht zu stark einzugrenzen (vgl. Hammann et al., 2006, S. 298) angesichts der eigenen Voreingenommenheit, um noch weitere potentielle Einflussgrößen in den Blick zu nehmen – sowohl als Test- als auch als Störgröße. *Viertens* ist die Veränderung der Ausprägung dieser unabhängigen Variable besonders einfach vorzunehmen.

Nachdem die Lernenden in Kleingruppen beraten haben, wie die Ursache-Wirkungsbeziehung zwischen einer ausgewählten Testgröße und der Pendelfrequenz experimentell untersucht werden kann, stellen ein oder zwei Teams ihre Ideen zur Untersuchung des Einflusses der Masse auf die Pendelfrequenz im Plenum vor (vgl. Abb. 9-2). Die übrigen Schüler kommentieren, ergänzen und korrigieren ggf. die Vorschläge. Unter Umständen beginnt ein Team mit einem schweren Wägestück am kurzen Pendelfaden und weist darauf hin, dass bereits mit diesem einzelnen Ansatz (Versuch) bewiesen sei, dass das schnelle Pendeln aus

¹⁴⁹ Siehe hierzu ausführliche Angaben bei Rösch (2012, S. 16 f.).

¹⁵⁰ z. B. durch Erfahrungen beim Hangabtrieb beim Rad oder Schlitten fahren.

der großen Masse resultiere. Hier ist ein *Denkanstoß* seitens der Lehrperson erforderlich – durch die Impulsfrage, wie man denn diejenigen, die glauben, dass leichtere Wägestücke genauso schnell hin- und herpendeln, am besten vom Gegenteil überzeugen könnte. Auf subtile Weise wird auf diese Weise allen Lernenden geholfen, die Bedeutung von Kontrollansätzen zu verstehen, die in nachfolgenden Lernmodulen noch weiter aufgegriffen wird.



Abb. 9-2. Pendel-Experiment mit Einführung der „Werkzeugkiste“¹⁵¹

Anmerkung. Es ist sinnvoll, eine größere und übersichtlichere Werkzeugkiste als in dieser Abbildung gezeigt oder eine Holzbox mit drei Abteilen zu nutzen, in der sämtliche Variablen-Zettel zu sehen sind. Noch einfacher wäre dies einer Pinnwand möglich, die in drei entsprechende Sektoren gegliedert ist (vgl. Abb. 6-7 und 6-8).

Laut Piaget ist es den Lernenden auf der formal-operatorischen Stufe der kognitiven Entwicklung möglich, die Kombinationen aus Faktorenausprägungen unter korrekter Berücksichtigung der Variablenkontrolle systematisch zu untersuchen (vgl. Montada in Oerter & Montada, 1998, S. 543). Insofern ist damit zu rechnen, dass – spätestens, wenn eine Gruppe ihren Plan mit den Materialien umsetzt – einige Schüler darauf hinweisen, dass alle anderen Variablen konstant gehalten werden müssen. Im Unterrichtsgespräch wird gemeinsam überlegt, wie unabhängige (Test- und Kontrollgrößen) und abhängige Variablen am besten operationalisiert werden könnten. Das Maß der Pendel-Auslenkung kann mithilfe einer bereit gestellten

¹⁵¹ Sämtliche Fotos im Anhang und in den Einzelbeiträgen stammen vom Verfasser (2009, 2010). Die abgebildeten Personen haben ihr Einverständnis zur Veröffentlichung in diesem Rahmen gegeben.

Winkelscheibe kontrolliert werden, die Zeitspanne wird mit einer Stoppuhr gemessen. Aus dem Abteil „veränderbare Größen“ werden die restlichen unabhängigen Variablen, deren Konstanthaltung nun allen Lernenden ein Anliegen ist, in ein drittes, mittelgroßes Abteil der Werkzeugkiste mit der Beschriftung „kontrollierte Größen“ (s. Abb. 6-7, 6-8 und 9-2) gelegt. Vielleicht ist manchen Lernenden bereits an dieser Stelle bewusst, dass es u. U. Einflussgrößen geben kann, die man entweder nicht kennt, oder die schwer zu kontrollieren sind – Störgrößen.

Angesichts der tatsächlichen Beobachtung während des Experimentierens mit unterschiedlicher Masse bei gleicher Länge des Pendelfadens wird der Lerngruppe etwas Wichtiges sehr anschaulich bewusst: die Evidenz widerspricht der Prognose. Der vermutete Zusammenhang zwischen Masse und Frequenz besteht nicht. Wenn richtig gearbeitet wurde, leuchtet ein, dass diese Vermutung gegebenenfalls verworfen und v. a. Alternativhypothesen getestet werden müssen (vgl. Ganser & Hammann, 2009a, S. 39). Durch die geschickte Vorgabe der Reihenfolge der zu prüfenden Testgrößen vermag die Mitarbeiterin des Naturschutzzentrums optimal, das Prinzip der Falsifikation zu thematisieren. Die Lernenden reflektieren über den Erkenntnisgehalt von empirischer Evidenz, die theoretische Annahmen nicht bestätigen. Ihnen wird deutlich, dass Experimente auch der Widerlegung von Vorstellungen dienen können. Letztendlich kann bei der Untersuchung der (sich verifizierenden) Hypothese, ob die Länge des Fadens die Pendelfrequenz bestimmt, noch thematisiert werden, auf welche Weise Ungenauigkeiten beim Messen zustande kommen und mithilfe welcher Techniken die Eindeutigkeit von Ergebnissen erhöht werden kann. Denkbar sind u. a. eine höhere Anzahl untersuchter Schwingungen, Reduzierung der Reibung oder eine stärkere Kontrastierung der Fadenlängen.

Nach dieser Einführung in das hypothetisch-deduktive Verfahren, den Zweck und Ablauf von Experimenten und die Unterscheidung sowie systematische Handhabung unterschiedlicher Variablen-Typen werden große Klassen halbiert. Die NaZ-Module II und III wurden in diesen kleineren Gruppen parallel gegenläufig von der Mitarbeiterin des Naturschutzzentrums und dem Verfasser umgesetzt¹⁵²: Aufgrund der praktischen Tätigkeiten im Wald, die in einem weitläufigen Gebiet stattfinden, ist diese Teilung von Großgruppen angesichts der Aufsichtspflicht angemessen¹⁵³.

NaZ-Modul II findet im so genannten „Waldklassenzimmer“ statt, welches etwa 500 m vom Naturschutzzentrum-Anbau entfernt beginnt, wo die übrigen Module durchgeführt werden. Davor grenzen Parkplatz und Skilift an den Weg. Gleich zu Beginn des „Waldklassenzimmer“-Bereichs wird in Anbetracht eines Hinweisschildes in der Lerngruppe thematisiert, was „Naturschutzgebiet“ bedeutet und gemeinsam überlegt, welche Nutzungskonflikte vor Ort zwischen verschiedenen Interessengruppen auftreten könnten. Dies ermöglicht eine Wiederholung der Situation im fiktiven „Sonnstein“ der Unterrichtseinheit. Ziel einer etwa zwanzigminütigen Wanderung ist eine Hütte auf Stelzen in einem naturnahen Stück Wald. Davor können die Arbeitsutensilien gut ausgebreitet werden. Überdies haben die Lernenden die Möglichkeit, sich bei Besprechungen hinzusetzen und im gegebenen Fall kurz dem Regen zu trotzen. Auf dem Weg zu dieser Hütte kommt man an Fichtenschonungen, Mischwald-Arealen, Ameisenhügeln, Feuchtgebieten und Totholz-Bereichen mit Naturverjüngungsphänomenen und Tierbauten vorbei.

¹⁵² Da es nicht möglich gewesen war, eine weitere, nicht im Forschungsprozess involvierte Person zu finden, welche die zweite Gruppe hätte übernehmen könnte, war es erforderlich, dass der Verfasser diese Rolle übernahm.

¹⁵³ Aufgrund der genauen Vorgaben in der Handreichung und identischer Arbeitsaufträge auf den Protokollbögen und „Forschungsaufträgen“ und der vorherigen Schulung der Naturschutzzentrum-Mitarbeitenden war ein sehr hohes Maß an Übereinstimmung zwischen den beiden Gruppen gegeben. Nicht möglich war hingegen, den Einfluss durch unterschiedliche Personen und deren Merkmale per se zu kontrollieren. Diese Störgröße besteht grundsätzlich, ist jedoch im Hinblick auf das gesamte Treatment eher vernachlässigbar.

Die erste Phase dieses Moduls knüpft an die Rahmengeschichte der Unterrichtseinheit an. Die Lehrkraft bzw. Mitarbeiterin des Naturschutzzentrums vergegenwärtigt den Nutzungskonflikt in „Sonnstein“ und spricht an, dass manche Gemeinderäte in Zusammenhang mit der Option des Aufforstens bestimmte Behauptungen ausgesprochen hätten. Anhand von Impulskarten setzen sich die Schüler in kleinen Teams als „Nachwuchsforscher“ mit Aspekten im Kontext des Lebensraums Wald auseinander: Ausgehend von einer fiktiven Behauptung machen sie sich in den Teams arbeitsteilig dabei in einem ersten Schritt ihre eigene Meinung bewusst und aktivierten ihr Vorwissen. Zu den Aussagen auf den Impulskarten gehören sinngemäß:

- „Waldarbeiter müssen sich zurzeit¹⁵⁴ keine Gedanken machen, durch forstwirtschaftliche Maßnahmen Tiere zu stören.“ Da man keine Tiere sehe, könne man davon ausgehen, dass vor Ort kaum Tiere leben würden.
- „In einem vor Jahrzehnten neu angelegten naturnahen Waldgebiet sind alle Bäume gleich alt – es gibt wegen des gleichzeitigen Anpflanzens keine jungen Bäume.“
- „Was die Gestaltung eines neuen Waldstücks bei der Aufforstung betrifft, muss man sich nicht viele Gedanken machen – ein Wald gleicht schließlich dem anderen.“
- „In einem Wald mit sommergrünen Baumarten ist es vor der Belaubung nicht möglich, lebende Bäume von stehendem Totholz zu unterscheiden.“

In einem zweiten Schritt überlegen sich die Teams, auf welche Weise sie den Wahrheitsgehalt der vorgegeben Behauptung bzw. von eigenen Alternativ-Vorstellungen untersuchen können. Indem sie – ausgehend von einer Frage nach der Gültigkeit einer bestimmten Behauptung – eine Untersuchung planen, wird ihnen bewusst, dass naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung gezielte, systematische Analyse und Beobachtung, Betrachtung oder Untersuchung beinhaltet (vgl. Ehmer, 2008, S. 74; Otteni in Spörhase & Ruppert, 2010, S. 76 ff.; Puthz, 1988, S. 11). Die Aufnahme von „Indizien“ wird in einem „Forscherheft“ in Form von Zeichnungen und Beschreibungen dokumentiert, um diese samt einer Schlussfolgerung später anderen Teams präsentieren zu können. Bereits hier üben die Lernenden die Untersuchung von biologischen Fragestellungen anhand naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen zum Zweck der Hypothesentestung ein. Wie Lawson (2003) und Hammann (2010) darstellen, wird angesichts einer Zusammenhangshypothese die Vorhersage eines erwarteten Ergebnisses getroffen. Aufgrund der empirischen Evidenz, können Theorie und Empirie in Beziehung gesetzt werden und eine Interpretation erfolgen. In einem Unterrichtsgespräch in der Großgruppe wiederholen die Lernenden später in eigenen Worten den Zusammenhang zwischen ihren ökologischen Untersuchungen und der Einführung in die Arbeit der Naturwissenschaftler in Modul I. Sie begründen anhand ihrer Befunde, ob die Behauptung der Person aus dem Gemeinderat durch die Forschungsarbeit des Teams verifiziert oder falsifiziert wurde.

An diese sehr anschauliche Erkundung von Teilaspekten des Biotops Wald schließt sich eine Analyse abiotischer Standortfaktoren an. Diese wird ebenso hypothesen-prüfend durchgeführt und ermöglicht die Wiederholung und Vertiefung von Begriffen aus den ersten vier Stunden der Unterrichtseinheit – wie etwa Stockwerkbau des Waldes, Nährstoffkreislauf, Zersetzung und Naturverjüngung. Dabei beschäftigen sich die Lernenden in Teams mit dem Faktor Temperatur und der Ressource Licht. Ausgehend von alltagsnahen Vorkenntnissen sollten Hypothesen formuliert werden, welche Standortbedingungen sich auf die Ausprägungen dieser beiden Größen auswirken könnten. Hieraus leiten die Schüler im Rahmen von Unterschiedshypothesen Prognosen ab, welche relativen Unterschiede zwischen zwei selbst zu wählenden

¹⁵⁴ Das Waldklassenzimmer befindet sich auf etwa 915 m ü NN. Im April ist es aufgrund des Mittelgebirgsklimas noch recht frisch, an schattigen Stellen kann vereinzelt noch Schnee liegen. Die Wachstumsperiode beginnt gerade erst langsam. Ektotherme Tiere entdeckt man kaum, nur wenige Vögel sind zu hören.

Standorten herrschen könnten. Anhand von Messungen mit Luft- bzw. Bodenthermometer und Luxmeter werden die Prognosen überprüft (s. Abb. 9-3). In der Regel lassen sich die begründeten Vermutungen bestätigen. In anderen Fällen wird in einem abschließenden Plenumgespräch gemeinsam überlegt, welche weiteren Faktoren unter Umständen zu unerwarteten Ergebnissen geführt haben könnten (z. B. höherer Wassergehalt im Boden an einer Stelle, Nähe eines Wärme besonders gut speichernden Objekts). In diesem Gespräch stellen die Lernenden, angeregt durch Impulse der sie betreuenden Person, Überlegungen an, wie sich eine Abholzung bzw. eine Beendigung der forstwirtschaftlichen Nutzung auf Standortbedingungen und auf das Vorkommen von Pflanzen und Tieren auswirken könnten. Auf diese Weise können nochmals viele Begriffe wiederholt und Kenntnisse argumentativ angewandt werden. Darüber hinaus üben sich die Schüler in der Bewertungskompetenz, indem sie mögliche Folgen anthropogener Eingriffe in den Lebensraum Wald für die belebte Umwelt skizzieren und sich mit möglichen Alternativen befassen (vgl. Killermann et al., 2008, S. 230).



Abb. 9-3. Hypothesenprüfung durch Erfassung abiotischer Standortfaktoren

NaZ-Modul III schließt sich nach einer Mittagspause an. Im Fokus steht dabei die Frage, weshalb in der Natur keine meterhohen Laubhaufen und Totholzberge anfallen, obwohl doch jahrzehnte- oder gar jahrhundertlang Bestandsabfall zusammenkommt und sich ablagert. Die Vermutung, dass totes organisches Material verrottet bzw. zersetzt wird und dabei Klein(st)-organismen eine Rolle spielen, gilt es nun, naturwissenschaftlich zu überprüfen. Die Lernenden prognostizieren, dass sie in der abgestorbenen Substanz nicht nur zahlreiche Lebewesen finden, sondern auch Fraßspuren und Wohnbauten entdecken würden, die auf organismische Abbautätigkeit schließen lassen. Als zweite Fragestellung wird der Körperbau von an der Zersetzung beteiligten Tieren in den Blick genommen: Welche funktionsmorphologischen und phänotypischen Anpassungen sind bei Tieren zu erwarten, die den Lebensraum Boden mit extremen Bedingungen (z. B. Enge, Dunkelheit, Trockenheit, Fressfeinde) besiedeln und dort besonders gut überleben können? Anhand eines Arbeitsbogens halten die Lernenden nicht nur ihre Vermutungen fest, sondern notieren später auch, welche Annahmen durch ihre „Forschung“ bestätigt, welche widerlegt wurden und welche neuen Erkenntnisse hinzugewonnen werden können. Die Beschäftigung mit solchen Gestaltmerkmalen ermöglicht eine Ordnung der Organismen unter funktionsmorphologischen Gesichtspunkten und betrifft das Basiskonzept *Struktur und Funktion*. Die Schüler lernen dabei allgemeine Bauprinzipien kennen, die sich auch auf andere Organismen übertragen lassen können (vgl. Beyer, 2006, S. 6; Killermann et al., 2008, S. 251 ff.). Dies stellt einen wertvollen Beitrag zur Formenkenntnis dar (vgl. Killermann et al., 2008, S. 254). Die Schülerinnen und Schüler entwickeln darüber hinaus die Fähigkeit weiter, mögliche Gründe für bestimmte Anpassungen zu reflektieren, was dem Verständnis für Zusammenhänge zwischen ökologischen und evolutionsbiologischen Sachverhalten zugutekommen kann.

Die Suche nach sowie Betrachtung, Beobachtung und Untersuchung von Boden- und Totholzorganismen (s. Abb. 9-4) wird einem audiovisuellen Medium vorgezogen. Hierfür sprechen mehrere Gründe: Zum einen führt die Originalbegegnung zu Primärerfahrungen, die verschiedene Sinne ansprechen. Aus Sicht des Konstruktivismus' kommt solchen „multi-sensorischen“ Erfahrungen bei Lern- und Behaltensprozessen eine große Bedeutung zu (vgl. Killermann et al., 2008, S. 94; Meixner & Müller, 2004, S. 2). Zum anderen ist es möglich, verschiedene fachgemäße Arbeitsweisen – z. B. Betrachten, Vergleichen, Beobachten, Zeichnen, Untersuchen – anzuwenden und dabei den Einsatz von und Umgang mit erforderlichen Gerätschaften – z. B. Lupe, Binokular, Federstahlpinzette – einzuüben (vgl. Gehlhaar in Gropengießer & Kattmann, 2006, S. 299). Überdies können an den Originalobjekten mehr Fragestellungen untersucht werden, weil gezielte Eingriffe und Analysemethoden möglich sind – etwa das eigenständig geplante Suchen nach Fraßspuren. Zum Teil können die Schülerinnen und Schülern anhand ihrer unmittelbaren Beobachtungen Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Lebewesen bzw. zwischen Organismen und ihrer unbelebten Umwelt erfassen und ökologische Zusammenhänge vermuten (vgl. Killermann et al., 2008, S. 255). Wie Erkenntnisse aus der Interessensforschung zeigen (vgl. ebd., S. 256), stellen Primärerfahrungen mit Lebewesen auch eine wichtige Anregung bezüglich des Interesses an Biodiversität allgemein dar. Gemäß des „Sieben-Schritt-Modells“ von Berck und Klee (1992; vgl. Killermann et al., 2008, S. 257 f.) bildet die Faszination durch Erlebnisse und emotionale Betroffenheit eine wichtige Grundlage für eine weitere Beschäftigung, die Steigerung der Interessiertheit (s. auch Hummel & Randler, 2012, S. 181), was letztlich sogar die Ausbildung oder Veränderung von Normen beeinflussen kann (vgl. auch Graf, 2004, S. 219). Ein weiteres Argument für Originalbegegnung ist das Ziel, unangemessene und die betreffenden Personen emotional beeinträchtigende Ekelgefühle abzubauen (vgl. Gropengießer et al., 2010, S. 54 f.).



Abb. 9-4. *Beobachtung und Untersuchung von Organismen aus Laubstreu und Totholz*

Die gefundenen Tiere werden mithilfe von einfachen dichotomen bzw. bebilderten Bestimmungsschlüsseln bzw. -büchern grob bestimmt. Steckbriefe regen zu einer genaueren Untersuchung und Recherche an. Wenn die Lernenden nach ihrer Untersuchungstätigkeit ihre Ent-

deckungen im Plenum präsentieren, dabei die Anpassungserscheinungen ihrer Funde erläutern sowie Lebensspuren der Tiere und Zersetzungsphänomene aufzeigen, wird nicht nur die Bedeutung der Organismen im Naturhaushalt, sondern auch die Biodiversität deutlich gemacht (vgl. Antunes, Goncalves, Almeida, Goncalves & Pereira, 2008). An der Pinnwand entsteht eine Collage aus großformatigen Schülerzeichnungen. Falls noch Zeit ist, wählen die Lernenden aus entsprechenden Infotafeln die gefundenen Arten aus und ordnen sie entsprechend der Informationen zu Nahrungsketten (vgl. 4. Lernmodul).

Auf der Grundlage ihres Vorwissens aus den ersten Lernmodulen des Treatments sind die Lernenden in der Lage, zum Abschluss Prognosen zu formulieren, welche Szenarien eintreten könnten, wenn beispielsweise Totholz oder Laubstreu aus einem Waldstück entfernt wird oder giftige Substanzen in die Streuschicht gelangen. Diese Problemkreise werden in später stattfindenden Lernmodulen wieder aufgegriffen und vertieft. Hier zeigt sich wiederum, dass sich das Treatment EXP durch kumulative Lehr-Lernprozesse auszeichnet (s. Abschnitte 6.3.3.3 und 6.3.3.4).

Als Hausaufgabe befassen sich die Lernenden mit dem Kreislauf naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung wiederholend, indem sie einen Ausschneidebogen mit den in *NaZ-Modul I* kennengelernten Piktogrammen und Stichwörtern bearbeiten (s. Rösch, 2012, S. 21 f.).

Nach dem ersten Aufenthalt am Naturschutzzentrum finden die nachfolgenden Module wieder an der jeweiligen Schule statt.

5. Lernmodul: „Käfer-Alarm!“

Nicht nur direkte Beobachtungen, auch Daten aus Untersuchungen können bei der evidenzbasierten Beantwortung von Fragen behilflich sein – auch, was die Aufdeckung von Ursache-Wirkungszusammenhängen betrifft. Im Rahmen dieses Lernmoduls stehen Tabellen und Diagramme im Mittelpunkt, die von den Lernenden beschrieben, ausgewertet, erstellt und zur Beantwortung von Forschungsfragen genutzt werden.

Im Lernkontext der „Sonnstein“-Rahmengeschichte setzen sich die Lernenden anhand einer Overhead-Folie mit Aussagen auseinander, die das Risiko einer Borkenkäfer-Massenvermehrung angesichts einer geplanten Aufforstung betreffen. Ein fiktiver Dialog zweier Förster wird als Impuls eingesetzt, damit sich die Schülerinnen und Schüler bewusst machen, dass die Interpretation von Daten eine systematische Beobachtung und exakte, vergleichbare Datenerfassung zu mehreren Zeitpunkten bzw. an verschiedenen zu vergleichenden Standorten voraussetzt (vgl. Stäudel et al., 2004, S. 27 ff.; Stäudel et al., 2006, S. 34 ff.). Im Rahmen von Arbeitsaufträgen, die in Teams in Form eines Stationenlernens bearbeitet werden, eignen sich Teams arbeitsteilig grundlegendes Wissen über die Tiere und das Phänomen der Massenvermehrung an und überprüft vorgegebene Hypothesen anhand der statistischen Evidenz, die aus Tabellen entnommen werden kann und interpretiert werden muss. Auf einem Arbeitsblatt werden zu den Daten individuell Balken- und Linien-Verlaufdiagramme erstellt. Dabei erhalten die Lernenden Unterstützung in Form von tutoriellen Hilfen: Für jede Diagrammart liegt als Lösungsbeispiel eine Anleitung zu einem anderen Kontext und anderen Größen und Werten aus (vgl. Stäudel et al., 2006, S. 92 ff.), so dass ein Transfer erforderlich ist. Anhand dieser Grafiken können die Lernenden nicht nur das Erstellen von Schaubildern einüben (und somit fachüberschreitend arbeiten), sondern auch erkennen, dass diese für die Interpretation aufgrund ihrer Anschaulichkeit besser als Tabellen geeignet sind. Im Plenum werden die Ergebnisse vorgestellt und verglichen. Außerdem wird diskutiert, inwieweit die Daten eine eindeutige Interpretation erlauben (vgl. Stäudel et al., 2006, S. 102 ff.). Falls noch Zeit zur Verfügung steht, wird anhand einer Folie das Phänomen der zyklischen und zeitversetzt gleichsinnigen Populationsschwankungen von Beute (Borkenkäfer) und Fressfeind (Spechte) anhand von weiteren Diagrammen präsentiert (vgl. Steidle, Scheu, Brose & Kronberg in Munk, 2009, S. 143 ff.). Die Lerngruppe spekuliert, wie dieser Zusammenhang erklärt werden kann und greift dabei auf Vorwissen zurück (Nahrungsbeziehungen). In der

Grafik weicht die Kurve der Spechte nach einigen Zeiteinheiten mit Regelmäßigkeit deutlich von der vorhersehbaren Entwicklung ab. Dies führt dazu, sich Gedanken zu möglichen Störgrößen des Zusammenhangs zu machen. Auch könnte in einigen Lerngruppen erkannt werden, dass ökologische Untersuchungen über einen längeren Zeitraum gemacht werden müssen, um systematische Zusammenhänge mit höherer Wahrscheinlichkeit zu erfassen bzw. Daten angemessener interpretieren zu können.

6. Lernmodul: „Experimentieren: Keine Zauberei!“

In der vorausgehenden ersten Phase des Treatments haben die Lernenden neben dem Aufbau des bedeutsamen Domänenwissens die Notwendigkeit verlässlicher Daten und angemessener Theorien als Grundlage für verantwortungsbewusste Entscheidungen erkannt und das hypothetisch-deduktive Vorgehen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung erarbeitet. In den sich anschließenden Lernmodulen soll kumulativ die eigentliche „experimentelle Problemlösefähigkeit“ aufgebaut und verbessert werden. Die bei Heranwachsenden oft zu beobachtenden Fehlstrategien und vorunterrichtlichen Konzepte (s. Abschnitte 4.7.1.3 und 4.7.3) gilt es dabei aufzugreifen und den Wechsel hin zu wissenschaftlich korrekten bzw. effektiveren Prozeduren bestmöglich zu unterstützen (vgl. Krüger, 2007).

In diesem Lernmodul steht der Vergleichsgedanke bei Experimenten im Mittelpunkt. Bereits beim ersten Aufenthalt am Naturschutzzentrum leuchtete in *NaZ-Modul I* ein, dass Vergleiche zwischen geeigneten Ansätzen notwendig sind, um Kausalbeziehungen eindeutig identifizieren können. Im Unterschied zum Pendelexperiment, bei dem es vor der ‚Auflösung‘ des Phänomens zwar eine mehrheitlich favorisierte Vermutung (größere Masse des Wägestücks als Ursache für die Periodendauer der Pendelschwingung), jedoch trotzdem eine größere Bandbreite potentieller Erklärungsmöglichkeiten gab, wird in dieser Stunde ein „Rätsel“ untersucht, bei dem die korrekte Erklärung für die meisten Schüler auf der Hand liegt. Gerade in solchen Fällen spielt das Verständnis der Bedeutung von Kontrollansätzen eine wichtige Rolle, um nicht aus Voreingenommenheit unsauber zu experimentieren (vgl. Hammann et al., 2006, S. 292).

Wie auch beim Pendelexperiment ist es in diesem Lernmodul notwendig, einen überschaubaren, leicht zu untersuchenden Ursache-Wirkungszusammenhang heranzuziehen, bei dem Störgrößen eine vernachlässigbare Rolle spielen bzw. überschaubar sind. Außerdem sollen die Lernenden in vielen kleinen Teams in relativ kurzer Zeit mit einfachen Hilfsmitteln arbeiten können. Diese Gründe schließen (komplexere) Experimente aus der Domäne *Ökologie* quasi aus (vgl. Abschnitt 7.3.1). Stattdessen wird das Aufsteigen von kleinen Objekten mit rauer Oberfläche in kohlenensäurehaltigem Wasser in den Mittelpunkt gestellt. Es handelt sich dabei streng genommen um ein Experiment aus der physikalischen Domäne *Mechanik*.

Auf einer Overhead-Folie werden die Schüler über ein Gemeindefest in „Sonstein“ informiert, bei dem ein Zauberkünstler auftritt. Ein Text schildert die Beobachtung aus Sicht des Publikums, das in einiger Entfernung vom Zauberer sitzt: In ein Glas mit durchsichtiger farbloser Flüssigkeit werden mehrere kleine dunkle Objekte gelegt. Diese bewegen sich nicht. Nachdem der Magier eine Schachtel über die Anordnung gestülpt und wieder hochgehoben hat, scheinen die Objekte zu „tanzen“: Sie bewegen sich auf und ab.

Im Unterrichtsgespräch werden Hypothesen der Lernenden zu möglichen Ursachen stichwortartig an der Tafel gesammelt und nach Plausibilität geordnet. Das Tafelbild ist dabei in einen „Ursachen“- und einen „Wirkungen“-Bereich aufgegliedert, um die Unterscheidung in unabhängige und abhängige Variablen bei der Hypothesenprüfung wieder aufzugreifen. In Kleingruppen sollen die Schüler ein Experiment zur Prüfung der ihrer Meinung nach wahrscheinlichsten Hypothese planen und durchführen: Dass Kohlensäure ursächlich für das Trudeln der Objekte sei. Die Lehrkraft beobachtet die Teams der Lernenden und wählt später für die sich anschließende Besprechung nach Möglichkeit bewusst eine Gruppe zur Präsentation ihres „Experiments“ aus, die lediglich einen Solitäransatz (vgl. Ehmer, 2008) geplant hat. Im Klassengespräch wird – ggf. durch Impulse unterstützt – problematisiert, ob das gezeigte

Procedere tatsächlich beweise, dass der Effekt an der Kohlensäure liege. Eine Gruppe mit vollständigem Experiment zeigt anschließend ihre Ansätze, die einen Vergleich erlauben. Dabei wird reflektiert, wann zwei Ansätze miteinander verglichen werden können, um die Kausalität zwischen einer Variable und einer Wirkung zu untersuchen, was eine Wiederholung der Erkenntnisse vom ersten Lerngang zum Naturschutzzentrum darstellt. Auf einem Arbeitsblatt ergänzen die Lernenden in Partnerarbeit den dort vorgegebenen Experimentansatz um die Skizze eines geeigneten Kontrollansatzes und beschreiben die Ausprägungen aller im Ansatz veränderbaren Größen in einer Tabelle, sodass die Variation der Testgröße und die Konstanzhaltung der Kontrollgrößen hervorgehoben werden.

Im abschließenden Gespräch sollen die Lernenden erläutern, wozu Forscher Experimente durchführen. Durch die Kontrastierung des zuerst präsentierten unvollständigen „Experiments“ (Solitäransatz) mit dem korrekten Vorgehen wird bewusst, dass es letztlich nicht um die Erreichung eines bestimmten Effekts geht (vgl. Carey et al., 1989, S. 516) – in diesem Fall das „Tanzen“ der Erbsen oder Rosinen. Diese didaktisch-methodische Umsetzung soll den Konzeptwechsel vom „Ingenieur-Verständnis“ hin zum wissenschaftlichen Konzept des Experiments unterstützen, das (in diesem Zusammenhang; vgl. Abschnitt 2.3) der Untersuchung von Ursache-Wirkungsbeziehungen dient (vgl. Schauble et al., 1991, S. 860).

Als Zusammenfassung dieses Moduls und als Merkhilfe für späteres Experimentieren führt die Lehrkraft in einem Lehrervortrag die „ZuKAKo-Regel“ ein (s. Abschnitt 6.3.3.5), erläutert diese kurz und demonstriert das Abzählen an den Fingern. Im Fachraum (bzw. Klassenzimmer) wird ein entsprechendes Plakat als Gedächtnisstütze angebracht. In den nachfolgenden Stunden sollen die Lernenden wo immer es möglich ist, diese Mnemotechnik (vgl. Abschnitt 6.3.3.5) selbst wiederholen und bei der Planung eigener Experimente als Verstehens- und Strukturierungshilfe nutzen, auch zur Prozessregulation.

7. Lernmodul: „Die beste Frage gewinnt (am meisten Wissen)!“

Nachdem die Schüler bislang Zweck, Ablauf und Logik des Experiments kennen gelernt haben, sind die nachfolgenden Module u. a. auf die Förderung wissenschaftsmethodischer Kompetenzen ausgerichtet. Im nun vorgestellten Modul erkennen die Lernenden, welche Merkmale gute epistemische Fragestellungen auszeichnen, auf welche Weise also Fragen und Hypothesen formuliert werden können, die den Prozess des Experimentierens zu regulieren, möglichst detailliertes Wissen um Kausalbeziehungen zu gewinnen und die Erkenntnisse zu strukturieren helfen (vgl. Neber & Anton, 2008 a, b). Dies stellt einen Beitrag zur Bewusstseinsbildung und zum Konzeptverständnis dar: Naturwissenschaftler stellen Theorien in Frage, fokussieren spezifische Probleme, evaluieren empirisch gewonnene Daten – hierfür sind Fragen unabdingbar: Sie sind untrennbar mit bedeutungsvoller, systematischer Arbeit verbunden (vgl. Chin & Osborne, 2008, S. 2).

In Zusammenhang mit dem Zaubertrick auf dem „Sonnsteiner“ Gemeindefest (s. 6. Lernmodul) befasst sich die Lerngruppe nach einer kurzen Wiederholung der Kontrollansatz- und Variablenkontrollstrategie in Teams mit verschiedenen Frage-Formulierungstypen. Diese sind auf einem Arbeitsblatt vorgegeben. Die Lernenden erhalten den Auftrag, die Fragen in absteigender Güte zu sortieren und bei der Besprechung im Plenum ihre Begründung dazu vorstellen. Dabei wird den Lernenden bewusst, dass konditional bzw. funktional formulierte Fragen bzw. Fragenstämme mit den „wenn ..., dann ...“- bzw. „je ..., desto...“-Wendungen nicht nur empirisch untersuchbar und prinzipiell falsifizierbar sind, sondern darüber hinaus ermöglichen, genauere Erkenntnisse als andere Fragestämme zu gewinnen (vgl. Neber & Anton, 2008 a, b). Weniger gut geeignete Formulierungen enthalten keine halbquantifizierten Aussagen, sind nicht mit „ja“/„nein“ beantwortbar oder nehmen nur eine Größe in den Blick, also keinen Kausalzusammenhang zwischen zwei Größen. Als komplett ungeeignet identifizieren die Schüler nicht naturwissenschaftliche bzw. im konkreten Kontext nicht relevante Fragen. Die Vorgabe von Frage-Formulierungen und deren Begutachtung werden im Treatment EXP dem ‚unbedarften‘ Generieren eigener Fragen und deren an-

schließender Bewertung vorgezogen: Diese Vorgehensweise ist zum einen weniger zeitintensiv, zum anderen können sich auch weniger leistungsstarke Lernende Gütekriterien überlegen und dadurch Erfolgserlebnisse haben. Müssten selbst formulierte Fragen bewertet werden, könnte dies unter Umständen weniger motivierend sein, da Lernende von sich aus eher keine anspruchsvollen und qualitativ hochwertigen Fragen formulieren (vgl. Neber & Anton, 2008 a), die eine intensivere Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand anregen (vgl. Neber, 2006, S. 53). Überdies sprechen Ergebnisse empirischer Studien für die besondere Eignung angeleiteten Fragestellens, in Verbindung mit kooperativem Lernen, wodurch die Reflexion und der Konzeptwechsel positiv beeinflusst werden (vgl. Neber, 2006, S. 55 f.). Ausgehend von den identifizierten „best practice“-Fragetypen können anschließend alle Lernenden mit den Fragestämmen (mehr oder weniger) erfolgreich weiterarbeiten.

Im Anschluss an diese Überlegungen leiten die Lernenden in Teams von der ihrer Meinung nach geeignetsten Frage eine Hypothese ab, die sie im Folgenden experimentell eigenständig untersuchen. Zuvor führt sie ein Impuls der Lehrkraft zu der Erkenntnis, dass Protokolle bei naturwissenschaftlichen Untersuchungen u. a. für den Vergleich von Daten und die Reproduktion von Experimenten von großer Bedeutung sind. Bei der Planung sollen die Schüler überlegen, wie sie die unabhängige und die abhängige Variable operationalisieren könnten. Der Kohlensäuregehalt kann beispielsweise durch die Anzahl des vorherigen Umrührens, Schüttelns oder die Zeit des Stehenlassens ansatzweise quantifiziert werden, die Bewegung der Erbsen oder Rosinen durch Stoppen und Addieren der Zeit an der Oberfläche oder durch Abzählen der Auf- und Abbewegungen. Zum Schluss gilt es zu beurteilen, ob die erhobenen Daten die Hypothese bestätigen oder widerlegen.

Als Hausaufgabe formulieren die Schüler mithilfe des besten Fragestammes in einem Umwelt-Kontext eigene epistemische Fragen bzw. Hypothesen: Da biologische und mechanische Bekämpfungsmaßnahmen eine bestimmte Schädlingsart nicht mehr kontrollieren können, wird ein chemisches Mittel eingesetzt. Dieses wird in Form großer Tabletten geliefert, die in Wasser aufgelöst werden müssen. Die Förster wollen experimentell herausfinden, ob man die Geschwindigkeit beschleunigen kann, in der sich die Tabletten auflösen. Die Lernenden sollten, bevor sie die Fragen bzw. Hypothesen aufschreiben, in die auf dem entsprechenden Arbeitsblatt ebenfalls abgebildeten „Werkzeugkiste“ (s. Abschnitt 6.3.3.5) wie sie es vom ersten Aufenthalt am Naturschutzzentrum gewöhnt waren (s. *NaZ-Modul I*), zuerst alle möglichen veränderbaren Größen notieren. Dies erleichtert es, epistemische Fragen zu generieren und Hypothesen zu generieren, weil nicht nur bedacht wird, *welche* Größen betrachtet werden bzw. eine Rolle spielen könnten, sondern auch *wie* diese verändert werden könnten.

8. Lernmodul: „Kurze Ursache – lange Wirkung?!“

Zwischenzeitlich ist den Lernenden bekannt, wie man einfaktorielle Experimente in einfachen Systemen planen kann und welche Eigenschaften gut formulierte epistemische Fragestellungen aufweisen. In diesem Lernmodul wird die Lerngruppe mit einem Charakteristikum vieler ökologischer Experimente konfrontiert: Wechselbeziehungen zwischen Organismen und deren Umwelt umfassen mitunter Prozesse, die langsam ablaufen, deren Effekte erst verzögert eintreten bzw. bewusst wahrgenommen werden. Daraus resultiert die Notwendigkeit einer längerfristigen Beobachtung, ggf. mit Messwiederholung, um ein Ergebnis adäquat erfassen und interpretieren zu können.

Hier wird wiederum deutlich: domänenübergreifende experimentelle Kompetenzen in einigermaßen einfachen Settings einzuführen, gelingt in der Domäne *Ökologie* kaum, sobald Realexperimente durchgeführt werden sollen. Das Thema des vorliegenden Lernmoduls bedarf hingegen unbedingt eines ökologischen Kontexts, denn nur dabei können die Lernenden anschaulich die spezifischen Charakteristika von Experimenten in der Domäne *Ökologie* handelnd erfahren und reflektieren.

An das Bewusstsein für längerfristige Wirkungen bzw. Entwicklungen werden die Lernenden anhand eines authentischen Kontextes herangeführt: Die Abbildung auf einer Overhead-Folie berichtet von einer Debatte im „Sonnsteiner“ Gemeinderat, bei der kontrovers über die Frage diskutiert wird, ob auf dem aufzuforstenden Grundstück künftig eine viel direktere Zufahrtsstraße für ein Sportzentrum verlaufen solle. Die Lernenden kommen zu dem Schluss, dass dies mit ökonomischen Vorteilen verbunden wäre und von Besuchern des Zentrums sicher gut geheißen würde. In einem zweiten Schritt wird auf der Overhead-Folie das Bild eines LKW-Unfalls in einem Waldgebiet aufgedeckt, wobei der Wagen umgestürzt daliegt. Die Lernenden setzen sich mit der Perspektivenvielfalt in der Diskussion (ökonomische, und soziokulturelle, politische Aspekte) auseinander und machen sich zu (möglichen) ökologischen Konsequenzen der angedachten Verlegung der Zufahrtsstraße Gedanken. Sie vermuten, dass sich nicht nur Lärm und Luftschadstoffe negativ auswirken könnten, sondern auch das Risiko für Tiere steigt, überfahren zu werden. Die Lernenden nehmen darüber hinaus an, dass in den Boden eingetragene Schadstoffe sowohl Pflanzen als auch Bodentieren schaden könnten. Die Frage, ob mit Blick auf ausgewiesene Gefahrenstoffe sogar Substanzen, die in der Großküche des Sportzentrums verwendet werden, problematisch sind, ist nun der Ausgangspunkt für Hypothesen in Bezug auf Keimung und Wachstum von Pflanzen¹⁵⁵. Der auf der Overhead-Folie abgedruckten Behauptung eines Gemeinderatsmitglieds, dass es im Falle eines Schadstoffeintrages für die Umwelt nicht allzu tragisch wäre, wenn beispielsweise „unnütze“ Regenwürmer davon betroffen wären, begegnen einige Lernende auf der Basis ihres Vorwissens mit der Aussage, dass u. a. deren Kot für die Bodenfruchtbarkeit eine wichtige Rolle spiele. Die Lerngruppe überlegt sich darauf hin, wie man vorgehen könnte, um die formulierten Hypothesen zu überprüfen. Dabei wird den Lernenden bewusst, dass in diesem Bereich nur Langzeitexperimente interpretierbare Ergebnisse liefern könnten. Kleingruppen planen arbeitsteilig Langzeitexperimente für die Untersuchung der Auswirkungen von Stoffeintrag bzw. dem Aufbringen von Regenwurmkot mithilfe der bereits aufgebauten Kompetenzen. Durchgeführt werden nach einer kurzen Besprechung aus organisatorischen Gründen aber lediglich die Experimente zu Keimung und Wachstum. Dabei werden in den Teams auch Aufgaben zur weiteren Pflege, Beobachtung und Dokumentation der in dieser Stunde angesetzten Experimente verteilt. Aus fachdidaktischer Sicht ist mit der Organisation und der Betreuung der keimenden Pflanzen über die kommenden zwei Wochen die Entwicklung anderer wichtiger Kompetenzen und Einstellungen verbunden (vgl. Gehlhaar in Gropengießer & Kattmann, 2006, S. 306 ff.).

Für die nachfolgende Schulstunde sollen die Lernenden ein Informationsblatt über Körperbau und Verhaltensweise von Asseln lesen und einige selbst gefangene Tiere beim nächsten Mal mitbringen.

9. Lernmodul: „Asseln: Wählerische Bodenlebewesen!“

Eine Abbildung und die Aussage einer „Sonnsteiner“ Gemeinderätin bringen auf einer Overhead-Folie gleich zu Unterrichtsbeginn den Problemkontext dieses Lernmoduls auf den Punkt: Die fiktive Person schlägt vor, einen verwilderten Bereich des besagten Grundstücks „aufzuräumen“, um es für Einheimische und Touristen ansehnlicher zu machen. Dies würde u. a. bedeuten, dort befindliche Holzstapel und Steine wegzuschaffen sowie Laubschicht und Büsche zu entfernen. Um die Zustimmung im Gemeinderat zu bewirken, ergänzt die Gemeinderätin ihren Vorschlag um das Argument, dass eine solche Maßnahme schließlich „doch weder den Pflanzen noch den Tieren“ schade (Rösch, 2010 b, S. 162). In der Lerngruppe werden im Klassengespräch Vor- und Nachteile einer solchen Maßnahme diskutiert. Zu letzteren gehören laut den Lernenden die Zerstörung von Lebens- und Rückzugsräumen von Tieren. Aufgrund ihres Vorwissens stellen die Lernenden die Hypothese auf, dass sich z. B. Asseln auf Dauer dort dann nicht mehr so zahlreich ansiedeln würden. Als Umweltfaktoren, denen sie im Hinblick auf den bevorzugten Aufenthaltsort von Asseln besondere Bedeutung

¹⁵⁵ Anregungen für Experimente zur Schädigung von Stoffen auf Keimung und Wachstum finden sich u. a. bei Drieling (2006), Eckebracht et al. (2006, S. 259) und Bayerischem Staatsministerium für Umwelt (2006, S. 348 ff.).

beimessen, nennen die Lernenden auf der Grundlage ihrer Erfahrungen beim zufälligen Entdecken oder Sammeln der Tiere z. B. Temperatur, Licht und Feuchtigkeit.

Als Hilfestellung für die nachfolgende Planung und Durchführung eigener Experimente präsentiert die Lehrkraft mithilfe einer Overhead-Folie als stummen Impuls das Bild einer Temperaturorgel. Die Lernenden beschreiben und erläutern die Funktionsweise des Geräts und spekulieren über die Fragestellungen, die man damit untersuchen könnte. Eine abgebildete Uhr gibt den Impuls für Überlegungen, ob eine einmalige Beobachtung ausreicht, Verhalten und Verteilung der Tiere quasi in Form einer „Momentaufnahme“ verlässlich zu interpretieren. Eine Vielzahl eingezeichneter Kleinstlebewesen wird von den Schülern als bewusst groß gewählte Stichprobe beschrieben, die genauer Auskunft über ein „typisches“ Verhalten der Lebewesen geben kann als die Beobachtung eines einzelnen Tieres. Das visuelle Medium eignete sich hervorragend, damit die Lernenden von selbst die Bedeutung und Kriterien planvollen Beobachtens (vgl. Otteni in Spörhase & Ruppert, 2010, S. 79 ff.) erkennen und begründen können sowie auch Kriterien für die Aussagekraft von Beobachtungen reflektieren.

Aus den als unabhängige Variablen identifizierten Größen werden zwei herausgegriffen: Feuchtigkeit der Umgebung und Lichtstärke. In einem ersten Schritt planen die Lernenden in Kleingruppen ein Experiment zur Beantwortung der Fragestellung, ob sich die Feuchtigkeit auf die Habitatselektion bei Asseln auswirkt, führen und werten es aus und füllen dabei einen Protokollbogen aus. Während eine Hälfte der Teams mit je einer Assel arbeitet, setzen die anderen Kleingruppen mehrere Tiere ein. Als tutorielles Unterstützungsangebot werden Karten mit gestuften strategischen, heuristischen und inhaltlichen Hilfen zur Verfügung gestellt, die sich an den bei Stäudel und Mogge (2008, S. 12 ff.) vorgestellten orientieren. Diese geben den Lernenden auf der Vorderseite Impulse zu den folgenden metakognitiven und handlungsregulierenden Aktivitäten (vgl. Franke-Braun, 2008, S. 73; ergänzt): (a) Umschreibung des Arbeitsauftrags in eigenen Worten, (b) Zerlegung der Aufgabe und Identifikation von Teilzielen, (c) Assoziation von Vorwissen, (d) Überprüfung der Hypothese durch Vergleich von Prognose und Evidenz.

Im Anschluss werden die Ergebnisse gemeinsam im Plenum verglichen. Dabei stellen die Lernenden fest, dass Asseln in Gruppen unter Umständen eine besondere Verhaltensweise zeigen, die bei Ogilvie und Stinson (1995, S. 57) näher beschrieben ist: eine ‚Klumpenbildung‘ durch mehrere Tiere, welche die Wasserabgabe über die reduzierte Körpergesamtoberfläche verringert. Dies führt z. T. zu anderen Ergebnissen hinsichtlich des bevorzugten Aufenthaltsortes als bei einzelnen Asseln. Im Unterrichtsgespräch wird die Bedeutung der Stichprobengröße und der Langzeitbeobachtung nun ausführlich begründet, nachdem ein entsprechender Lückentext in den Kleingruppen ausgefüllt worden ist.

Abschließend wird die experimentell gewonnene Erkenntnis auf das Ausgangsproblem angewandt. Dabei wird den Lernenden deutlich, dass die Entscheidung, ob man eine entsprechende Maßnahme zur Veränderung der Landschaft, von den Zielen und Werten, die damit verbunden sind, und deren Priorisierung abhängt. Im Sinne der Schulung von Bewertungskompetenz und im Sinn einer Bildung für nachhaltige Entwicklung überlegen sich die Lernenden, welche Argumente aus anderen Nachhaltigkeitsdimensionen unter Umständen wichtiger erachtet werden könnten als der Schutz der Habitate von Bodenlebewesen.

Zur Übung befassen sich die Schüler in Partnerarbeit (bzw. als Hausaufgabe) mit einer analog gestellten Aufgabe: Auf einem Arbeitsblatt soll ein Experiment geplant werden, mit dem die Frage beantwortet werden kann, ob sich die zu Beginn auch angesprochene Lichtstärke auf den bevorzugten Aufenthaltsort von Asseln auswirkt.

10. Lernmodul: „Experimente für Profis (I)“

Nachdem die Strategien des Kontrollansatzes und der Variablenkontrolle anhand einfaktorieller Experimente eingeführt worden sind (s. dazu auch Ehmer, 2008; Ganser & Hammann, 2009 b, S. 380 ff.; Hammann, 2010, S. 94), wird in einem nächsten Schritt die Kompetenz geschult, systematisch Reihen von Ansätzen für zwei- oder mehrfaktorielle Experimente zu planen (vgl. Ehmer, 2008, S. 81 ff.). Da solche Planungen oftmals unsystematisch verlaufen und nicht selten konfundiert sind (s. Tab. 4-1; vgl. auch Hammann et al., 2006), setzt das nun vorgestellte Lernmodul an häufig zu beobachtenden fehlerhaften Strategien an.

Zu Beginn eröffnet die Lehrkraft der Lerngruppe, dass sich eine größere Gruppe im „Sonnsteiner“ Gemeinderat dafür ausspreche, auf dem Grundstück die hangaufwärts befindliche Skipiste zu verlängern (vgl. Abb. 9-1). Eine andere Gruppe im Gemeinderat sehe dies aber als kritisch und gefährlich an und würde diese Meinung anhand von Beobachtungen belegen wollen. Auf einer Overhead-Folie wird dazu in Form eines Balkendiagramms der Vergleich von zwei Standorten gezeigt: Die Menge des Oberflächenabflusses nach Starkregen sei auf einer untersuchten Piste viel größer als auf einer bewaldeten Vergleichsfläche an einem Hang in der Nähe der Piste.

Im Klassengespräch werden Ideen gesammelt, welche Bedingungen für dieses Phänomen als Ursache in Frage kommen könnten. Die Lernenden tragen diese auf einem Arbeitsblatt stichwortartig in die bereits bekannte „Werkzeugkiste“ als veränderliche Größen ein.

Eine zweite Overhead-Folie zeigt ein *Modell*-Experiment samt Ergebnissen, das kritische Gemeinderäte durchgeführt hätten. Bei diesem wurde die – angeblich aussagekräftige – gleichzeitige Untersuchung von zwei Testgrößen – Bodenart und Bodenverdichtung – vorgenommen. Didaktisch empfiehlt es sich eher, mit einem vorgegeben falschen Experiment zu beginnen, als die Lernenden gleich selbst ein zweifaktorielles Experiment planen zu lassen: In Form des stellvertretenden (so genannten advokatorischen) Fehlerlernens kann anhand eines konstruierten Beispiels eine für alle Lernenden bearbeitbare Lernsituation geschaffen werden (vgl. Ehmer, 2008, S. 43 f.). Überdies kann durch diese Vorgehensweise die kognitive Belastung reduziert werden – bei einem Realexperiment wäre diese höher ausgefallen (vgl. Neber & Anton, 2008 a, S. 147). Die Schülerinnen und Schüler diskutieren, ob das Experiment als gelungen betrachtet werden kann. Im Plenum wird thematisiert, dass eine eindeutige Schlussfolgerung nicht möglich ist, ob *beide* Testgrößen für sich ausschlaggebend für die betrachtete Wirkung gewesen sind, oder ob sie in Interaktion ursächlich sind oder ob nur eine davon für die verlangsamte Einsickerungsgeschwindigkeit von Wasser von Bedeutung ist. Gemeinsam reflektieren die Lernenden, wie ein Experiment aussehen müsste, damit über beide Testgrößen eine Aussage möglich ist. Ihnen wird klar, dass sie das Ausgangsproblem in zwei Teilprobleme zerlegen und jede Testgröße einzeln untersuchen müssen. Diese Erkenntnisse werden in Form einer Umordnungsaufgabe auf einem Arbeitsblatt festgehalten (Schritte zur Planung eines mehrfaktoriellen Experiments in die richtige Reihenfolge bringen). Hieraus ergeben sich Teilfragen und eine Versuchsreihe, bestehend aus mehr Ansätzen als bei nur einer Testgröße. Die Schülerinnen erkennen überdies, dass zwei Ansätze sich nur dann zum Vergleich eignen, wenn sie sich ausschließlich in den Ausprägungen *einer* unabhängigen Variable unterscheiden: der Testgröße.

Als Übung überlegen sich die Schülerinnen und Schüler die korrekte Versuchsreihe zum vorgestellten Experiment und halten sie auf einem Protokoll-Bogen fest. Als Demonstrationsexperiment wird diese Versuchsreihe anschließend aufgebaut, durchgeführt und gemeinsam ausgewertet. Die Lernenden ergänzen einen vorbereiteten Protokollbogen um die Ergebnisse und die Auswertung. Auch, wenn dieses Lernmodul keinen Schwerpunkt auf Modellexperimente legt¹⁵⁶, wird doch kurz problematisiert, ob die Übertragbarkeit dieser Schlussfolgerungen auf die Realität uneingeschränkt möglich sei. Die Lerngruppe macht sich Gedanken, welche Konsequenzen die Ergebnisse für die Entscheidung in „Sonnstein“ haben könnten.

¹⁵⁶ Vgl. den zweiten Aufenthalt am Naturschutzzentrum.

Den Lernenden wird bewusst, dass sich die Bodenverdichtung zwar negativ auf die Wasser- versickerung auswirkt, dass es aber noch zahlreiche zusätzliche Einflussfaktoren und Stör- größen geben kann.

Am Ende der Stunde oder als Hausaufgabe folgt auf einem Arbeitsblatt eine Übung. Sie besteht aus zwei Aufgaben unterschiedlichen Schwierigkeitsgrades, bei denen im Rahmen zweifaktorieller Experimente innerhalb desselben Kontextes (teils fragmentarisch vorgege- bene) Ansätze ergänzt bzw. vollständig zusammengestellt werden. Die Lernenden sollen außerdem kennzeichnen, welche Ansätze paarweise miteinander verglichen werden können.

11. Lernmodul: „Experimente für Profis (II)“

Als Einstieg in diese Übungsstunde dient ein auf einer Overhead-Folie vorgegebenes Experi- ment zur Untersuchung der Ortspräferenz von Asseln. Dabei ist eine Getränkeflasche mithilfe verschiedener Materialien in zwei Hälften mit unterschiedlichen Umweltbedingungen ge- gliedert. Mit dem zweifaktoriellen Experiment soll die Hypothese überprüft werden, dass sich Temperatur und Lichtstärke auf die Auswahl des Aufenthaltsortes auswirken würden. Die Lernenden beurteilen die Güte des dargestellten Aufbaus und können dabei die Erkenntnisse des vorausgehenden Lernmoduls nutzen. Dabei versteckt sich in der Apparatur nicht nur eine offenkundige Konfundierung, sondern auch die Variation einer weiteren (außer der beiden Test-) Variablen: Eine Flaschenhälfte besitzt die Form eines Hohlzylinders, die andere hat hinter einer Verengungsstelle die Gestalt eines hohlen Kegelstumpfes, verjüngt sich also leicht bis zur Öffnung. Zur Wiederholung des vorausgehenden Lernmoduls analysiert die Lern- gruppe im Plenum zuerst die Qualität des Aufbaus und plant danach eine Versuchsreihe, bei der die Kontrollansätze für jede untersuchte Testgröße jeweils nur für eine Variable eine Varia- tion aufweisen und sich ansonsten gemäß der Variablenkontrollstrategie paarweise gleichen. Dabei wird nochmals die „ZuKAKo-Regel“ ins Gedächtnis gerufen und an die Schrittfolge bei mehrfaktoriellen Experimenten erinnert. Anstelle eines Realexperiments wird auf einer Over- head-Folie mithilfe der *Overlay*-Technik (vgl. Meyfarth in Gropengießer & Kattmann, 2006, S. 319) und unter Nutzung von Folienstücken mit abgebildeten Materialien der Aufbau eines Experiments simuliert, indem Lernende die Ansätze durch Kombination von Folien-Stücken „aufbauen“. Falls noch nicht geschehen, wird die unterschiedliche Form der Flasche als möglicher weiterer Einflussfaktor problematisiert.

Nach diesem wiederholenden Einstieg bearbeiten die Lernenden in Kleingruppen ein Arbeitsblatt, das Versuchsreihen bei mehrfaktoriellen Experimenten thematisiert. Bei den Aufgaben gilt es u. a., (a) Fehler bei Vergleichen zwischen Ansätzen zu identifizieren; (b) Forschungsfragen zu generieren, die durch korrekte vorgegebene Ansatzpaare beant- wortet werden können; (c) anzugeben, zwischen welchen vorgegebenen Ansätzen paarweise Vergleiche möglich sind; (d) fehlende Ansätze zu vorgegebenen zu ergänzen, um ein zweifak- torielles Experiment zu vervollständigen; (e) für ein zweifaktorielles Experiment die notwen- digen Ansätze bei zwei Testgrößen und zwei Kontrollgrößen komplett selbst zu beschreiben; (f) Ansätze für ein dreifaktorielles Experiment zu beschreiben.

Den Lehrkräften ist freigestellt, innerhalb leistungsheterogen zusammengesetzten Lern- gruppen zu differenzieren – etwa durch die Auszeichnung von Pflicht- und Wahlaufgaben. Unterstützung bekommen die Lernenden durch Lösungsblätter mit gestuften Hilfen, wodurch sie Impulse erhalten, vorhandenes Wissen um Regeln und Strategien zu aktivieren, bevor die vollständige Lösung der Aufgaben präsentiert wird und Selbstkontrolle ermöglicht. Auf diese Weise kann sich die Lehrkraft gegebenenfalls um Lernende mit größeren Schwierigkeiten kümmern (vgl. Meyer, 2008, S. 105 f.).

12. Lernmodul: „Mit Ergebnissen muss man kritisch umgehen!“

Mithilfe der Overhead-Folie mit dem verunglückten LKW in einem Waldstück aus dem 8. Lernmodul erinnert die Lehrkraft an die Ausgangsfragestellungen, die den Langzeitexperimenten der vergangenen Wochen zugrunde liegen: (a) „Wirken sich Substanzen, die in der Großküche des Sportzentrums verwendet werden, auf Samenkeimung bzw. Pflanzenwachstum aus?“ und (b) „Wirkt sich Regenwurm Kot positiv auf Pflanzenwachstum aus?“. Anhand eines Plakates, das den *inquiry cycle* zeigt, der dem Schema des hypothetisch-deduktiven Verfahrens vom ersten Aufenthalt am Naturschutzzentrum entspricht, stellen zwei Teams ihr Experiment gemäß der bekannten Schrittfolge von der Fragestellung bis zur Interpretation der Ergebnisse vor. Von Interesse sind dabei auch die von den Gruppen erstellten Diagramme. Bei ihnen kann die Lehrkraft thematisieren, dass es sich um Mittelwerte vieler Pflänzchen bzw. Samen handelt. An dieser Stelle wird nochmals deutlich, dass erst größere Stichproben eine Abschätzung erlauben, ob Einzeldaten repräsentativ sind. Andere Teams mit der jeweils gleichen Fragestellung kommentieren, ergänzen und korrigieren falls nötig die exemplarischen Präsentationen. Im Unterrichtsgespräch reflektieren die Schüler zum einen, worin Grenzen der Aussagekraft und des Transfers der Erkenntnisse auf die realen Verhältnisse liegen können. Zum anderen machen sie sich Gedanken, welche Konsequenzen die Bürger von „Sonnstein“ aus den Erkenntnissen der Experimente der Lernenden ziehen könnten. Dabei besteht wieder die Möglichkeit, verschiedene Argumente im Hinblick auf nachhaltige Entwicklung gegeneinander abzuwägen.

Die Vorgehensweise orientiert sich am Ansatz von Parchmann (2009), der den Kontext beim Forschenden Lernen nutzt, um alle vier Kompetenzbereiche zu berücksichtigen (vgl. Abschnitt 4.9.6.4).

Vertiefend setzen sich die Lernenden anschließend arbeitsteilig anhand eines Arbeitsblattes mit Behauptungen von Bürgern aus „Sonnstein“ auseinander, die sich auf die Aussagekraft von Experimenten beziehen und verschiedene – inadäquate wie wissenschaftlich angemessene – Vorstellungen zu experimentellen Designs oder der Interpretation von Experimenten repräsentieren. Die Lernenden reflektieren diese Aussagen und entwickeln auf der Basis ihres bisherigen Sachverständnisses einen begründeten Standpunkt dazu. Im Plenum stellt jede Gruppe die behandelte Behauptung und ihre eigene Meinung dazu vor. Angesprochen werden Aspekte wie Störgrößen bei Experimenten in lebenden Systemen, Übertragbarkeit von Ergebnissen, Validität von Labor- bzw. Feldexperimenten sowie die Dauer der Beobachtung ökologischer Kausalbeziehungen. Dabei werden Bewusstsein und Kompetenzen zu Aspekten der externen Validität wiederholt und vor dem Hintergrund des aktuellen Lernstands durchdacht.

Zweiter Aufenthalt am Naturschutzzentrum

Nachdem die Lerngruppe seit Beginn des Treatments deklarative, strategische und prozedurale Kompetenzen experimenteller Problemlösefähigkeit erarbeitet und eingeübt hat, stellt der zweite ganztägige Aufenthalt am Naturschutzzentrum den Höhepunkt der Unterrichtseinheit dar:

- Im Laufe des Treatments gewonnene Erkenntnisse werden elaboriert, im Sinne horizontalen Transfers hinsichtlich Anwendung und Nutzen reflektiert und zusammengefasst (vgl. Adamina et al., 2008, S. 111; Meyer, 2007, S. 202 f.)
- Wissenschaftsmethodische Fähigkeiten werden in neuen Kontexten angewandt.
- Modelle dienen als Anschauungs- und Erfahrungshilfe und ermöglichen als stark vereinfachende Abbilder komplexer realer Prozesse und Strukturen gleichzeitig Erkenntnisgewinnung (vgl. Kattmann in Gropengießer & Kattmann, 2006, S. 295) und wissenschaftspropädeutische Reflexion hinsichtlich der Aussagekraft von Befunden, die in Modellexperimenten gewonnen wurden und der Modellierung von Realität (vgl. KMK,

2005 a, S. 10 f.) per se – ein Lerngegenstand, der schulisch bislang eher selten im Mittelpunkt steht (vgl. Lehrer & Schauble, 2006, S. 383).

- Anhand von Modellexperimenten werden nicht nur die üblichen Aspekte intern validen Experimentierens beachtet, sondern darüber hinaus weitere wissenschaftspropädeutische Gesichtspunkte reflektiert. Diese betreffen z. B. die Grenzen der Aussagekraft der modellhaften Simulationen hinsichtlich der Übertragung auf Realobjekte und Originalvorgänge (vgl. Mayer, 2007, S. 178).
- Die Aufgabe, Naturvorgänge möglichst treffend abzubilden und Hypothesen zu Ursache-Wirkungszusammenhängen in Real-, jedoch modellhaften Experimenten zu überprüfen, fordert dynamisches Problemlösen (vgl. Leutner, Funke, Klieme & Wirth, 2005, S. 17 ff.): Die Lernenden müssen zuerst einen komplexen Sachverhalt analysieren und in ein Denkmodell transformieren sowie dieses als gegenständliches Modell umsetzen, das Eingriffe erlaubt und ansatzweise auf die Wirklichkeit übertragbare Erkenntnisse liefern soll. Dabei ist es nötig, zahlreiche Teilziele zu formulieren und zu erreichen: Teilweise ist es während des Arbeitens nötig, Apparaturen zu optimieren und selbstregulativ den Arbeitsprozess flexibel zu gestalten.
- Metakognitive Aktivitäten spielen dabei also eine zentrale Rolle: Die Lernenden benötigen ein hohes Maß an Reflexion über ihre Vorgehensweise, die während des Problemlöseprozesses immer wieder modifiziert werden muss. Material- und Geräteauswahl sowie -aufbau sind in der Regel das Ergebnis eines längeren Abwägungsprozesses. Fragen oder Hypothesen müssen in Abstimmung mit den Untersuchungsmöglichkeiten im konkreten Modell unter Umständen abgewandelt, erweitert oder eingeschränkt werden (vgl. Adamina et al., 2008, S. 47).
- Die Forschungstätigkeiten der Lernenden beinhalten gute Möglichkeiten für offenes Experimentieren und Binnendifferenzierung, was der Heterogenität der Lerngruppe entgegenkommt (vgl. Hameyer et al. 1986, S. 6 f.; Müller in Bovet & Huwendiek, 2006, S. 258 f.) und eine für die Konzept- und Strategienutzung so wichtige Adaption des Schwierigkeitsgrades an die Leistungsfähigkeit der Agierenden ermöglicht (vgl. Horstendahl et al., 2000). So erhalten die Lernenden große Freiheit bezüglich der Auswahl von Forschungsschwerpunkten, Geräten und Methoden und können gemäß ihrer Leistungsfähigkeit das Niveau der Bearbeitung bestimmen.
- Um die Eigenständigkeit der Lernenden zu ermöglichen und nur so wenig wie möglich einzuschränken, agieren Lehrkraft und Mitarbeiterin am Naturschutzzentrum (sowie gegebenenfalls der Verfasser, der bei sehr großen Klassen anwesend war) nicht invasiv, sondern responsiv, d. h., im Idealfall wird nur in Ausnahmefällen eingegriffen. Impulse werden der Bereitstellung fertiger Lösungen oder Instruktionen vorgezogen. Dies entspricht dem Prinzip der (minimalen) Hilfe zur Selbsthilfe (vgl. Aebli, 1998, S. 300) und der letzten Phase eines Lernprozesses im Sinne des *Cognitive Apprenticeship*-Ansatzes (vgl. Mandl & Kopp, 2005, S. 21). Das begrenzte Zeitfenster macht es allerdings erforderlich, dass die Selbstregulation der Teams z. T. geringfügig unterstützt wird (vgl. Hameyer et al., 1986, S. 6 f.) – etwa in Form zur Verfügung gestellter Karten mit gestuften Hilfen.

Das Tagesprogramm gliedert sich hauptsächlich in *drei Lernmodule*:

NaZ-Modul IV ist der Einführung von Modellexperimenten und der Auseinandersetzung mit deren Besonderheiten gewidmet. Die Mitarbeiterin des Naturschutzzentrums stimmt die Lerngruppe darauf ein, dass in der naturwissenschaftlichen Forschung manchmal ganz besondere Experimente zur Erkenntnisgewinnung genutzt werden. Sie präsentiert als Beispiel dazu einen Experimentalaufbau (s. Abb. 9-5) und kommentiert diesen sinngemäß mit den Worten, dass ein Forschungsinstitut mit diesem „seltsamen“ Experiment etwas über Weinanbau-Flächen

herausfinden wolle. Die Schüler beschreiben zuerst, was sie sehen und auf welche Weise man die Apparatur verändern könnte:

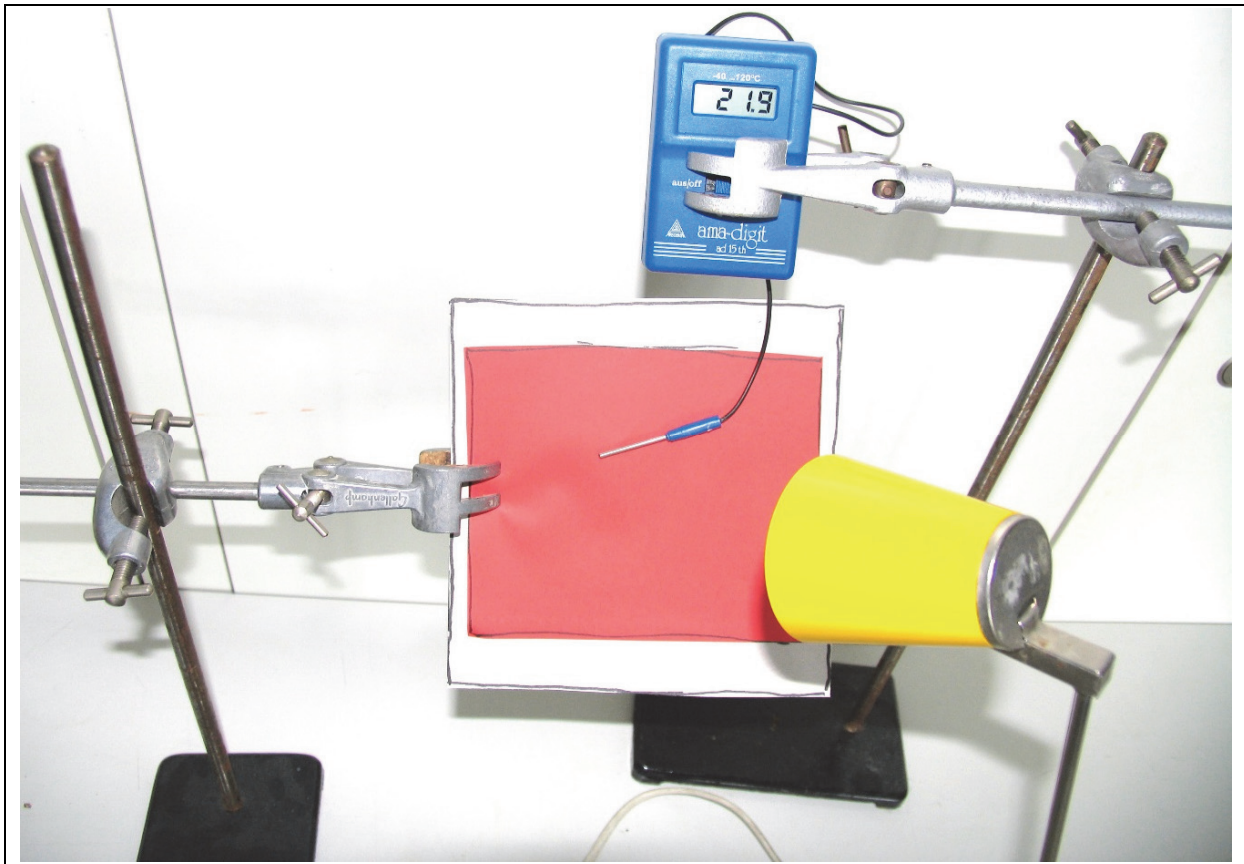


Abb. 9-5. Apparatur zum Experiment „Weinbau-Forschung“

An Stativmaterial ist eine um eine horizontale Achse schwenkbare Fläche befestigt, auf der verschiedene farbige Papiere unterschiedlicher Beschaffenheit angebracht werden können. Auf diese Fläche ist eine Lampe ausgerichtet. Auf die schwenkbare Fläche wird der Fühler eines Digitalthermometers gelegt.

Im Klassengespräch spekulieren die Lernenden, welche Fragestellungen man mit der Apparatur modellhaft untersuchen könnte und benennen mögliche Hypothesen, die z. T. aus dem Vorwissen abgeleitet werden. Dazu ist es nötig, die Strukturen und Eigenschaften der Apparatur zu analysieren, zu abstrahieren und nach Analogien im Zusammenhang mit Weinbergen zu suchen (vgl. Girwidz in Kircher, Girwidz & Häußler, 2009, S. 134 f.). Unter den Hypothesen ist beispielsweise die Annahme: „Je dunkler die Fläche ist, desto höher wird die Temperatur direkt an der Fläche“. Ohne Probleme erläutern die Lernenden, welche Entsprechungen originale Strukturen und Phänomene im Modell haben (vgl. Meisert, 2012 b, S. 112). Die Mitarbeiterin hält die Gegenüberstellung der jeweiligen Systemelemente in einer Tabelle auf einer Pinnwand fest. Dort hängen auch die Schritte des hypothetisch-deduktiven Verfahrens aus *NaZ-Modul I* des ersten Aufenthalts am Naturschutzzentrum. Darüber hinaus befinden sich auch Schilder mit den Aufschriften „Modellbildung“, „Modellkritik“ und „Übertragung [auf die Wirklichkeit]“. Im Gespräch wird sowohl geklärt, weshalb in der Forschung ein solches Experiment überhaupt durchgeführt werden könnte und wo unter Umständen die Grenzen der Übertragbarkeit vom Modell auf Realsysteme liegen. Dabei bringen die Lernenden zur Sprache, dass Original und Modell nicht in allen strukturellen und funktionalen Aspekten übereinstimmen, was einerseits auf nicht abgebildete Merkmale, zum anderen auf zusätzliche, nicht wesentliche Kennzeichen des Modells zurückzuführen ist (vgl. Gropengießer et al., 2010, S.

96 f.). Das Unterrichtsgespräch berücksichtigt die in Abbildung 9-6 angesprochenen Aspekte (vgl. Gropengießer et al., 2010, S. 96 f.; Kattmann in Gropengießer & Kattmann, 2006, S. 331; Leiß & Wiegand, 2006, S. 65; Westermann, 2009, S. 157). Diese Vorgehensweise unterstützt eine metakonzeptuelle Auseinandersetzung mit den Ebenen von Realität und Modell (vgl. Mikelskis-Seifert & Leisner, 2004, S. 133). Girwitz (in Kircher et al., 2009, S. 425) betont in diesem Zusammenhang die Positiva von Modellexperimenten aus didaktischer Perspektive – gerade im Hinblick auf Erkenntnisgewinnung: Auch, wenn damit nicht Naturvorgänge unmittelbar untersucht werden können, so bietet sich doch die Möglichkeit, komplexe Systeme auf „wenige, aber entscheidende Faktoren“ zu reduzieren und als unwesentlich erachtete Größen „auszublenden“. Dabei spielen Denkmodelle eine zentrale Rolle. Gerade in komplexen Systemen können auf diese Weise Charakteristika besser herausgearbeitet, erfahren und veranschaulicht werden. Insofern ermöglicht die Erfahrung mit Modellexperimenten in besonderem Maß, sowohl das Konzept des Experiments zu thematisieren als auch die Modellhaftigkeit naturwissenschaftlicher Erkenntnis zu erfahren, die aus der Komplexität der realen Systeme und der Beschränktheit unserer Wahrnehmungs-, Verarbeitungs- und Einsichtsfähigkeit resultiert.

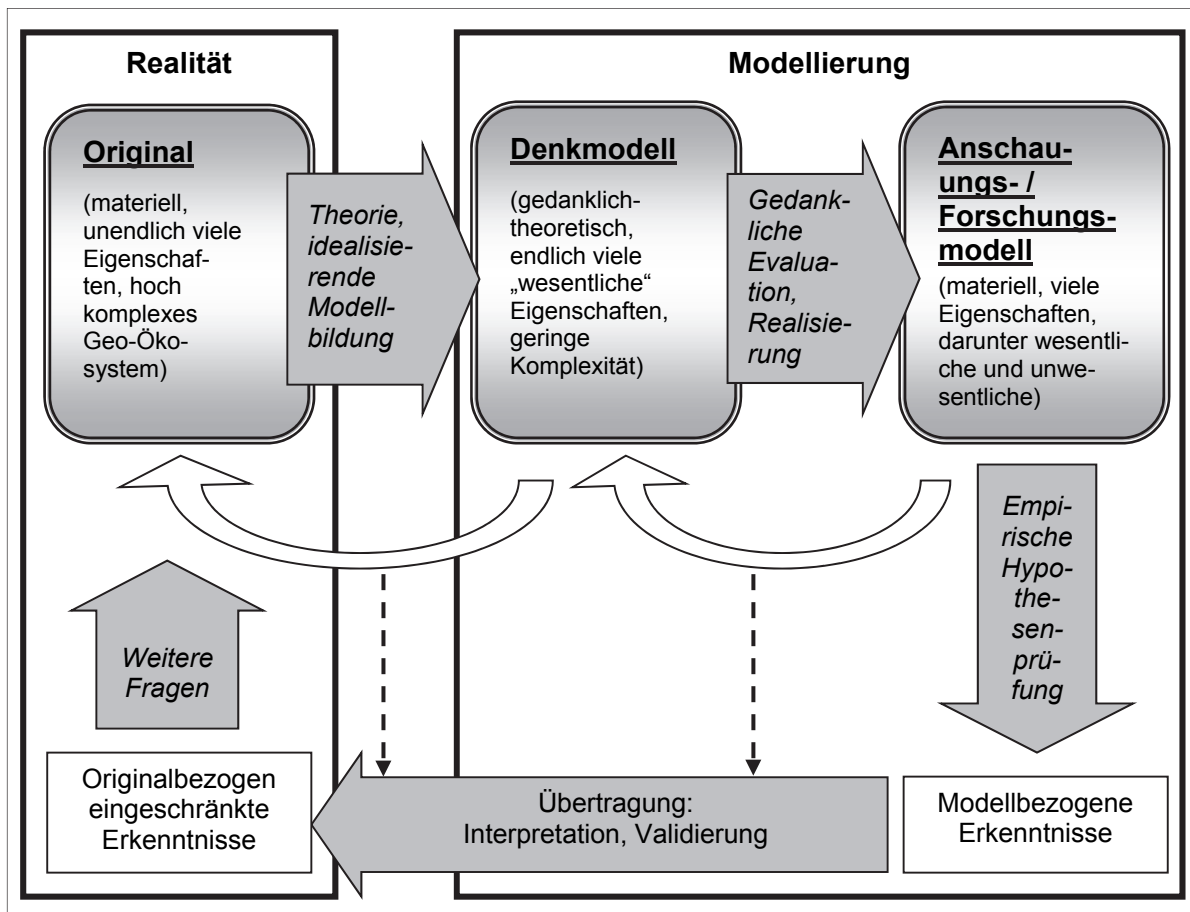


Abb. 9-6. Schema der Modellierung bei Modellexperimenten

In NaZ-Modul V wird das Wissen um die Besonderheiten von Modellexperimenten herangezogen, um weitere Erkenntnisse zur möglichen Nutzung des „Sonnsteiner“ Areals zu gewinnen. Die Mitarbeiterin des Naturschutzzentrums präsentiert ein Schild, das eine aufgeforstete Fläche als „Schutzwald“ ausweist. Gemeinsam mit den Lernenden wird die Bedeutung dieses Begriffs geklärt. Anschließend erläutert die Mitarbeiterin den ‚Forschungsauftrag‘: Forscher sollen Gutachten erstellen, inwiefern ein Wald auf dem besagten Grundstück angesichts der

topographischen Lage von „Sonnstein“ Schutzfunktionen übernehmen könnte. Diese ‚Forschungsmission‘ wird an die Lernenden im Folgenden übertragen. Anhand verschiedener Bildimpulse, die – begleitet durch einen Text – ein Phänomen darstellen (z. B. Bodenerosion durch Wasser bzw. Wind, Abgänge von Lawinen bzw. Erdbeben, Windwurf von Bäumen mit Flachwurzeln durch Orkane), generieren die Lernenden in Vierergruppen im Hinblick auf mögliche Funktionen von Schutzwäldern Fragestellungen und formulieren Hypothesen. Die Teams bearbeiten jeweils einen thematischen Denkanstoß und überlegen dabei zuerst, auf welche Weise und mit welchen Materialien die wichtigsten Eigenschaften des interessierenden Originalsystems angemessen modellhaft nachgestellt werden können. Dabei hilft unter Umständen ein Arbeitsblatt mit der „Werkzeugkiste“ zum Eintragen von als relevant betrachteten Variablen im Realsystem. Den Lernenden stehen zahlreiche Materialien und Messgeräte zur Verfügung, die eigenständig ausgewählt werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, Natur- oder sonstige Materialien in die Konstruktion von Funktionsmodellen miteinzubeziehen. In einigen Teams können die Reflexion der eigenen Vorgehensweise und zufällige Beobachtungen bei den modellhaften Vorgängen weiterführende Überlegungen und Vermutungen evozieren:

„Während die Natur [...] auf die gezielt gestellte Frage antwortet, teilt sie häufig noch mehr mit, als man eigentlich wissen wollte, und legt damit dem sorgfältigen Beobachter immer neue Fragestellungen und Experimente nahe.“
(Puthz, 1988, S. 11).

Durch Manipulieren und Analysieren von Effekten stellt die Modifizierung und Optimierung der Modell-Anordnung eine hervorragende Gelegenheit für dynamisches Problemlösen dar (vgl. Leutner et al., 2005, S. 18). Dabei wenden die Lernenden nicht nur bereits vorhandene Kompetenzen an, sondern generieren weiteres Wissen anhand von Erfahrungen und werden darüber hinaus sensibilisiert für eine kritische Fehleranalyse. Zum ‚Forschungsauftrag‘ gehört neben der Hypothesenprüfung die Dokumentation der Modellexperimente in Form von Einzelprotokollen und Gruppenplakaten i. S. von ‚Forschungspostern‘. Nebeneffekt dieser für die spätere Präsentation bzw. die individuelle Ergebnissicherung notwendigen Notizen ist die Bündelung der Konzentration und eine tiefergehende Auseinandersetzung mit dem eigenen Arbeitsprozess und dessen Produkt (vgl. Franke-Braun, 2008, S. 168). Bis über die Mittagspause hinaus haben die Teams Zeit, an ihrem Forschungsprojekt zu arbeiten. Unterstützend können sie Karten mit gestuften Hilfen in Anspruch nehmen¹⁵⁷.

NaZ-Modul VI ist dem sogenannten „kritischen Diskurs“ und dem „conclusiobasierten Transfer“ (Reitinger, 2013, S. 36 ff.) gewidmet: D. h., dass die arbeitsteilig erfolgten „Forschungsaktivitäten“ im Plenum nicht nur vorgestellt und begründet, sondern auch kritisch hinterfragt sowie auf den Kontext übertragen und im Hinblick auf konkrete Anforderungen und Bedingungen angewandt werden. Dieser Ansatz wird den Forderungen gerecht, die im Hinblick auf eine optimierte „Modernisierung des Experimentalunterrichts“ oft artikuliert werden (vgl. Backhaus & Braun, 2009, S. 108): Die Lernenden (a) gewinnen eigene Forschungsfragen, (b) analysieren ein Phänomen im Hinblick auf bestimmte Variablen, (c) setzen sich mit Methoden zur Beantwortung ihrer Forschungsfragen auseinander und kommunizieren diese reflektiert und

¹⁵⁷ Es hat sich gezeigt, dass dieses Angebot eher selten genutzt wurde – eine mögliche Erklärung dafür ist, dass die Lerngruppen mit dieser Methode nicht ausreichend vertraut waren (vgl. auch Walpuski, 2006, S. 17). Das Experiment zur Ortspräferenz von Asseln (9. Lernmodul) war verhältnismäßig einfach, so dass dort der Einsatz der Karten von den Gruppen kaum in Erwägung gezogen wurde. Während der Arbeitsphase des zweiten Aufenthaltes am Naturschutzzentrum mussten in manchen Fällen Impulse durch die betreuenden Personen im Rahmen der Hilfe zur Selbsthilfe erfolgen. Grundsätzlich kann jedoch vermutet werden, dass die Förderung sachbezogener Kommunikation und dadurch eine verbesserte Reflexion durch Karten mit gestuften Hilfen (vgl. Franke-Braun, 2008, S. 185 ff.) nicht nur bei Lernenden der 9. Klassenstufe, sondern grundsätzlich auch in unteren Klassenstufen der Sekundarstufe I zu erwarten ist. Eine weitere Erklärungsoption ist, dass die kommunikativen und kooperativen Fähigkeiten der Schüler in den Teams z. T. (noch) nicht ausreichten, um eine optimal-konstruktive Synergie samt Nutzung der Hilfsangebote zu realisieren.

(d) präsentieren schließlich auch die Resultate ihrer ‚Forschungsaktivitäten‘. Die Vorgehensweise in den Teams folgt der bei Neupert (1996, S. 260 f.) dargestellten Schrittfolge der Erkenntnisgewinnung anhand von Modellexperimenten (vgl. auch Lehrer & Schauble, 2006, S. 381). Das in diesem Lernmodul insgesamt umgesetzte didaktisch-methodische *Procedere* orientiert sich am *SSCS-Unterrichtsmodell*, das Search-, Solve-, Create- und Share-Phasen umfasst (vgl. Lunetta et al., 2007, S. 424 f.).

An die Gruppenarbeit schließt sich eine Art Rollenspiel an, welche die Situation in „Sonnstein“ ins Zentrum des Unterrichts rückt. Zu Beginn begrüßt der Bürgermeister von „Sonnstein“ in Person der Naturschutzzentrum-Mitarbeiterin die Gemeindeversammlung. Als ‚wissenschaftliche Gutachter‘ sind die Lernenden in die Sitzung geladen, ihre Ansichten begründet darzulegen, ob es angesichts der „Sonnsteiner“ Topographie rund um das betreffende Areal sinnvoll sei, einen Schutzwald anzupflanzen. Neben der Schrittfolge des hypothetisch-deduktiven Verfahrens sollen die Teams die o. g. Aspekte in Verbindung mit Modellexperimenten ansprechen. Damit erbringen sie eine anspruchsvolle metatheoretische Leistung, die ansonsten nicht selten von der Lehrkraft ausgeht (vgl. Killermann et al., 2008, S. 154). Das Plenum fungiert dabei als ‚*Science Community*‘ aus anderen Forschern, die die Rolle von *Critical Friends* übernehmen, also gut Gelingen würdigen und konstruktiv Modifizierungsvorschläge unterbreiten (vgl. Bell, 2010, S. 19; Gropengießer et al., 2010, S. 26 f.). Zentral sind hier auch Modellkritik und Grenzen der Übertragung von Erkenntnissen auf die realen Verhältnisse¹⁵⁸ anzusprechen. Als kompetente ‚Sachverständige‘ geben die Teams auch begründete Statements ab, ob sie einen Schutzwald an dieser Stelle befürworten. Die Mitarbeiterin des Naturschutzzentrums arbeitet in einer Zusammenfassung aus den Forschungsergebnissen und Empfehlungen heraus, wie bedeutsam ein Wald aufgrund seiner vielfältigen Schutzfunktionen gerade an der vorgesehenen Stelle in „Sonnstein“ erscheint. Als Wiederholung bearbeitet die Lerngruppe nachfolgend ein Arbeitsblatt, auf dem in einer Landschaftszeichnung vielfältige Folgen der Abholzung an unterschiedlichen Standorten zu entdecken und zu beschreiben sind. Diese sollen benannt, beschrieben und erklärt werden. Auf diese Weise wird das Wissen um die zahlreichen Funktionen von Wäldern reaktiviert und in den inzwischen erweiterten Kontext gestellt – eine Form der Elaboration und des horizontalen Transfers. Über die erforschten Funktionen von Wäldern hinaus werden weitere Nutz- und Schutzfunktionen dargestellt.

Bevor die Lerngruppe wieder nach Hause aufbricht, füllen die Lernenden die „Umfrage Naturschutzzentrum“ aus. Anschließend sind sie eingeladen, in einer Feedbackrunde positive und negative Erlebnisse und Eindrücke zu den Aufenthalten rückzumelden.

13. Lernmodul: „Gute Beratung – gute Entscheidung!“

Anhand eigener Experimente hat die Lerngruppe während des zweiten Aufenthaltes am Naturschutzzentrum ganz i. S. der Bildung für nachhaltige Entwicklung erfahren, was alles damit verbunden ist, eine Fragestellung naturwissenschaftlich zu untersuchen und aus den Ergebnissen Schlussfolgerungen zu ziehen, die als Grundlage für eine Entscheidung herangezogen werden. In der nun vorgestellten Stunde, die das Treatment EXP abschließt, setzen sich die Lernenden mit vorgegebenen Experimenten und Forschungsergebnissen von fiktiven (mehr oder weniger) ‚professionellen‘ Gutachtern arbeitsteilig in Kleingruppen auseinander. Dabei soll kritisch beurteilt werden, ob es sich um kompetente Fachleute handelte, die dem „Sonnsteiner“ Gemeinderat empfohlen werden können. Schließlich hat der Gemeinderat beschlossen, verschiedene Gutachten einzuholen, um den Flächennutzungskonflikt verantwortlich lösen zu können (vgl. Ausführungen zum 1. Lernmodul). Zuvor reflektiert die Lerngruppe jedoch erst, woran man „gute“ Experten überhaupt erkennen kann. Die Infoblätter zu den einzelnen „Gutachtern“ enthalten mehr oder weniger explizit angedeutete Fehler (oder korrekte

¹⁵⁸ Befunde empirischer Studien deuten darauf hin, dass der Einsatz von Modellen (in diesem Fall sogar in Form einer dreifachen Verknüpfung von Modellbildung, -nutzung und -kritik) nachhaltiges Lernen positiv zu beeinflussen vermag (vgl. Killermann et al., 2008, S. 168; s. auch Girwidz in Kircher et al., 2009, S. 425).

Aspekte). Durch die Verwendung konstruierter Fälle ist es möglich, eine große Bandbreite zu gestalten, sodass wenig Redundanz nötig und eine interessante, abwechslungsreiche Präsentation unterschiedlichster Experimente im Folgenden zu erwarten ist.

Ihre Meinung zu der Vorgehensweise des jeweiligen Wissenschaftlers stellen die Teams in der anschließenden Unterrichtsphase vor. Dabei begründen sie ausführlich Für und Wider zu Planung, Arbeitsweise und Schlussfolgerungen der ‚Fachleute‘. Diese Reflexion kann sowohl als Übung (Lernaufgabe) als auch als Indikator (Leistungsaufgabe) für das Verständnis von Strategien und Prozeduren beim Experimentieren angesehen werden (vgl. Klahr & Nigam, 2004, S. 664). Die Lerngruppe notiert stichwortartig auf einem Arbeitsblatt für jede/-n Wissenschaftler/-in Positiva und Negativa. Gemeinsam wird im Klassengespräch ein erster Platz für das beste vorgegebene Experiment vergeben. Während die Lehrkraft den Ausblick gibt, dass das konkrete „Sonnsteiner“ Problem nun vom Gemeinderat mithilfe des/-r besten Wissenschaftlers/-in gelöst werden müsse, erhalten die Lernenden eine Urkunde in Form eines „Experimentier-Führerscheins“, welcher die während der Unterrichtseinheit erworbenen experimentellen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kenntnisse bescheinigt.

9.2.3 Messinstrumente der Interventionsstudie

9.2.3.1 Instruktion für die Fachlehrkraft

Liebe Kollegin, lieber Kollege,

bitte beachten Sie folgende Punkte, damit die Durchführung und Bearbeitung der Tests bei allen Klassen vergleichbar bleibt. Herzlichen Dank!

Bei Fragen können Sie sich gerne an mich wenden: < Kontaktdaten >

* Die Bearbeitung dauert auf jeden Fall 45 min. Es ist wichtig, dass die volle Zeit zur Verfügung steht. Wer vor Ende der Stunde fertig wird, soll ruhig am Platz sitzen bleiben. Die Tests sollen nach ca. 45 wieder eingesammelt werden. Bitte stellen Sie vorher sicher, dass die Lernenden ungestört und ohne voneinander abzuschauen die volle Zeit nutzen können (evt. zuvor die Sitzordnung verändern).

* Eröffnen Sie die Stunde mit einer kleinen Einführung:

„Die Teilnahme unserer Klasse hilft den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, den NWA-Unterricht zu verbessern. Sie freuen sich sehr, dass wir an ihrem Projekt teilnehmen. Bei den Aufgaben, die wir heute bearbeiten, geht es nicht darum, was Ihr genau wisst, sondern, mit welcher Methode Ihr eine Aufgabe bearbeitet. Dabei gibt es nicht ‚richtig‘ oder ‚falsch‘ – und daher auch keine Noten. Die Wissenschaftler möchten herausfinden, auf welche verschiedenen Weisen man die Aufgaben bearbeiten kann. Daher soll sich auch jede/r nur mit seinen eigenen Aufgaben beschäftigen und für sich arbeiten – ohne bei anderen nachzuschauen. Es ist wichtig, dass Ihr euch die Aufgaben gut durchlest.“

* Fahren Sie fort:

„Jeder bekommt nun ein Heft. Lasst es bitte noch ungeöffnet vor euch liegen! Erst, wenn jeder in der Klasse sein Heft hat, lesen wir gemeinsam die Anleitung zum Ausfüllen des Hefts durch.“

* Lassen Sie die Testhefte von Schülerinnen und Schülern austeilen. Achten Sie selbst darauf, dass noch niemand umblättert.

* Lesen Sie laut und langsam den oberen Bereich der ersten Seite vor, die Lernenden lesen leise mit.

* Falls noch allgemeine Fragen offen wären, sollen diese nun knapp zur Sprache gebracht und geklärt werden.

* Die Klasse beginnt mit der Test-Bearbeitung, wenn jede/-r den Bogen hat.

* Teilen Sie die *Incentives* (Süßigkeiten) aus.

* Bitte helfen Sie **nicht** (nur unverständliche Wörter dürfen individuell kurz erläutert werden).

* Vergewissern Sie sich vor dem Einsammeln, dass alle Schülerinnen und Schüler ihren Namenscode eingetragen haben.

* Bitte sprechen Sie im Anschluss (und auch später) **nicht** mit der Klasse über die Aufgaben!

* Bitte schicken Sie die Bögen im vorgesehenen Umschlag über das Sekretariat (bitte Schulstempel als Absender nicht vergessen) an uns zeitnah zurück (evt. noch Nachzüglerinnen oder Nachzügler abwarten?).

Vor dem **Nachttest** ist es sehr wichtig, die Klasse zu motivieren: Der Nachttest ist ja identisch mit dem Vortest (was die Klasse aber erst dann erfährt).

* Teilen Sie der Klasse erst direkt vor der Bearbeitung des Nachttests (dann, wenn die Testbögen vor den Schülerinnen und Schülern liegen) mit, dass die Wissenschaftler für die Forschung eine zweite Bearbeitung benötigen. Dabei sei es von großem Interesse, wie die Aufgaben *diesmal* bearbeitet würden. Die Schülerinnen und Schüler sollen also wieder aufmerksam alles lesen und darauf achten, wie sie *diesmal* (nach den vergangenen Wochen) die Aufgaben bearbeiten würden.

* Bitte lösen Sie erst nach der zweiten Testeinheit des Nachttests (also, wenn alle Datenerhebungen vorbei sind) die Sache im Detail auf (z. B. Sinn der Wiederholungsmessung; identische Aufgaben beim ersten und zweiten Messzeitpunkt etc.).

9.2.3.2 Leistungstest



Pädagogische
Hochschule
Freiburg

V



Hallo –
vielen Dank, dass du bei unserer Untersuchung mitmachst!
Viel Spaß beim Ausfüllen!

A Namenscode

Damit du nicht deinen echten Namen angeben musst, darfst du hier einen Geheimnamen eintragen. Und zwar trägst du dafür in die ersten drei Kästchen die ersten drei Buchstaben deines Vornamens ein, dann die ersten drei Buchstaben deines Nachnamens und zum Schluss deine Hausnummer. Bitte schreibe in Großbuchstaben!

Beispiel: Peter Lustig, Bauwagenstraße 100

P	E	T	L	U	S	100
Vorname			Nachname			Hausnummer

Und jetzt du:

--	--	--	--	--	--	--

B Zu diesem Aufgabenheft

Bitte lies die Aufgaben aufmerksam durch und bearbeite sie in der vorgesehenen Reihenfolge.

Es ist nicht schlimm, wenn du dir bei einer Aufgabe mal nicht ganz sicher bist – bitte bearbeite sie trotzdem so gut es geht.

Bitte bleibe ruhig an deinem Platz sitzen, falls du schon vor Ablauf der Stunde fertig bist.

C Persönliche Angaben

(a) Ich bin ____ Jahre alt.

(b) Ich bin ein ... Mädchen Junge.

(c) Für meine *Mutter* ist Deutsch die Muttersprache (also die Sprache, die sie schon als kleines Kind gelernt hat):

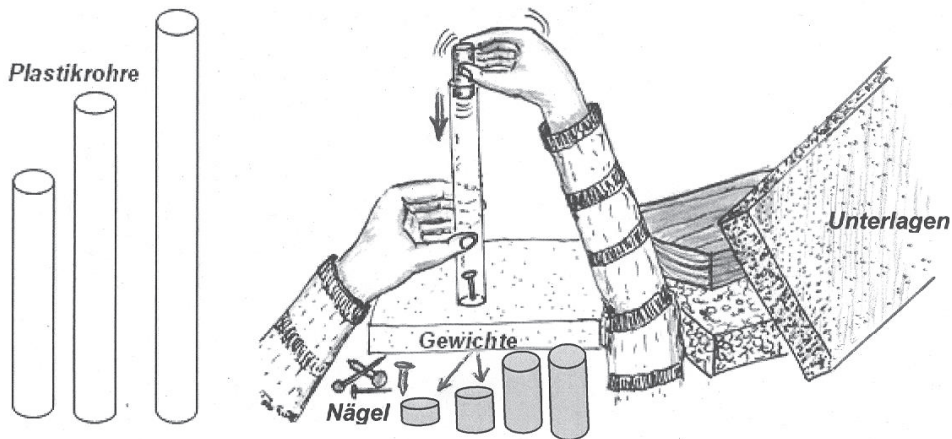
ja nein.

(d) Für meinen *Vater* ist Deutsch die Muttersprache (also die Sprache, die er schon als kleines Kind gelernt hat):

ja nein.

Nr. 2: Nägel

Nina lässt aus einer bestimmten Höhe ein Metallgewicht durch ein Plastik-Rohr auf einen Nagel fallen. Dabei beobachtet sie, dass der Nagel in eine Unterlage hinein geschlagen wird. Nina findet verschieden schwere Gewichte, Plastik-Rohre, Nägel und Unterlagen aus verschiedenen Materialien (Styropor, Holz, Knete, ...).

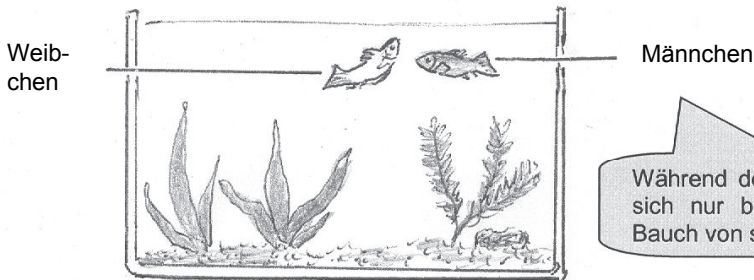


>> Schreibe eine Frage auf, die Nina mit einem Experiment naturwissenschaftlich untersuchen und beantworten könnte!

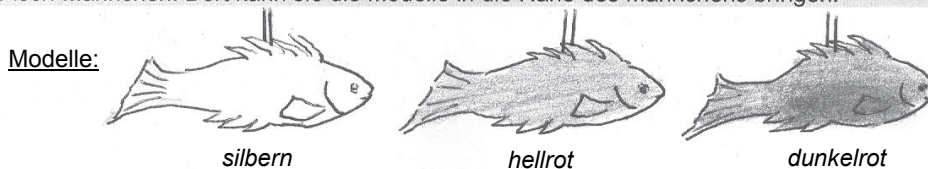
>> _____

Nr. 3: Fisch-Modell

Jenny hat zum Geburtstag ein großes Aquarium mit Fischen geschenkt bekommen.



Jenny ist aufgefallen: Männchen greifen jedes andere Männchen an, das in ihr Revier schwimmen möchte. Jenny will das genauer untersuchen. Sie bastelt sich aus Knete verschiedene Modelle (du siehst sie unten in der Abbildung) und befestigt sie an einem Stück Draht. In einem Aquarium hat sie ein Fisch-Männchen. Dort kann sie die Modelle in die Nähe des Männchens bringen.

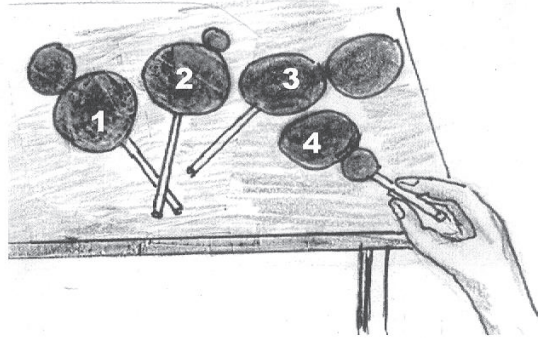
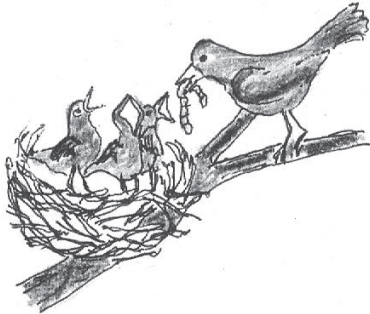


>> Schreibe eine Frage auf, die Jenny mit einem Experiment naturwissenschaftlich untersuchen und beantworten könnte!

>> _____

Nr. 4: Küken

Hungrige Vogelküken sperren ihre Schnäbel weit auf, wenn sie gefüttert werden (*linkes Bild*). Ali hat beobachtet, dass sie das auch manchmal machen, wenn **nicht** die Vogel-Mutter ans Nest kommt, sondern Modelle („Attrappen“) verwendet werden. Er hat mehrere Attrappen gebastelt (*rechtes Bild*).



>> Schreibe eine Frage auf, die Ali mit einem Experiment naturwissenschaftlich untersuchen und beantworten könnte!

>> _____

Nr. 5: Fisch-Atmung

Bei Fischen kann man am Öffnen und Schließen des Kiemen-Deckels sehen, wie oft sie in einer bestimmten Zeit atmen. Anna und Stefan haben herausgefunden, dass die Fische in zwei verschiedenen Aquarien (durchschnittlich) unterschiedlich oft atmen.

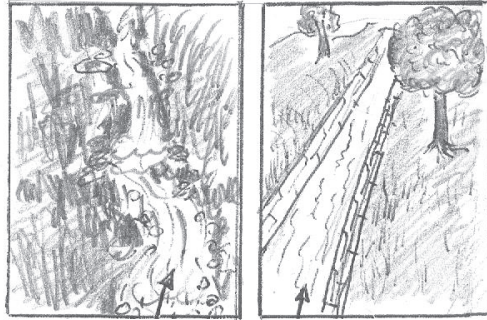


>> Woran könnte das liegen? Schreibe möglichst viele verschiedene Vermutungen stichwortartig auf!
(Auch, wenn du dir unsicher bist, ob es stimmt)

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____
8. _____

Nr. 6: Bach

Tobias hat bei einer Wanderung in den Bergen im Gebirgsbach eine Wasserkäfer-Art gefunden. Als er einige Tage später bei sich zu Hause im Tal in einem Bach danach sucht, findet er diese Tierart nicht. „Komisch ...!“, denkt sich Tobias.



Bergbach

Bach zu Hause

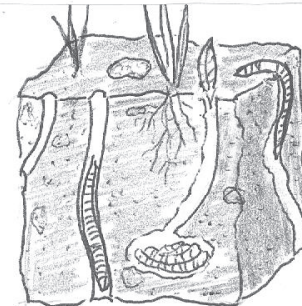
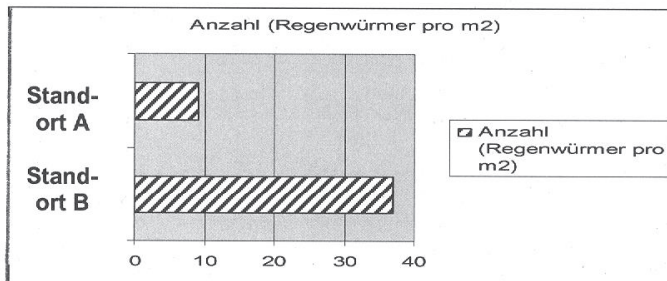
>> Schreibe möglichst viele verschiedene Vermutungen stichwortartig auf, **welche Ursachen** für das Fehlen in Frage kommen könnten! (Auch, wenn du dir unsicher bist, ob es stimmt)

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____
8. _____



Nr. 7: Regenwürmer

Forscher haben festgestellt, dass Regenwürmer im Boden nicht an allen Standorten gleich häufig vorkommen.

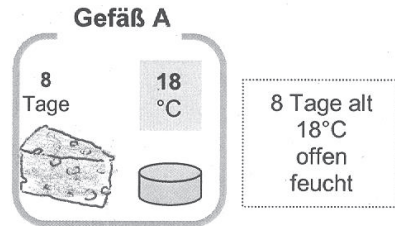


>> Schreibe möglichst viele verschiedene Vermutungen stichwortartig auf, **welches Gründe** dafür sein könnten! (Auch, wenn du dir unsicher bist, ob es stimmt)

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____
8. _____

Nr. 8: **Schimmelpilze**

Melanie möchte untersuchen, wie wichtig das **Alter** der Speisen und **Außenluft** für die Vermehrung von Schimmelpilzen sind. Sie vermutet, dass ältere Speisen eher schimmeln, und dass Außenluft dazu führt, dass die Speisen eher schimmeln.



Melanie nimmt einen 8 Tage alten Käse, stellt ihn bei 18°C in ein offenes Gefäß (**Gefäß A**), wo auch ein Schälchen mit Wasser steht.

Melanie hat noch andere Gefäße mit Käse, mit denen sie Gefäß A vergleichen kann:

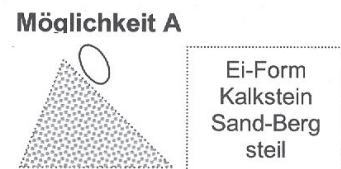
Gefäß 1	Gefäß 2	Gefäß 3	Gefäß 4
4 Tage alt	4 Tage alt	8 Tage alt	4 Tage alt
25°C	18°C	18°C	18°C
geschlossen	offen	geschlossen	geschlossen
trocken	feucht	feucht	feucht

Kreuze nur die Antwort an, die für den Vergleich mit Gefäß A unbedingt nötig ist und reicht, um die Vermutung zu überprüfen.

- Gefäße 2, 3 und 4
- Gefäß 1
- Gefäße 2 und 3
- Gefäß 4

Nr. 9: **Steinschlag**

Olga möchte untersuchen, ob sich **Gesteinsart** und **Form** eines Steins darauf auswirken, wie weit der Stein einen Berg herunterrollt. Sie vermutet, dass der Stein nicht so weit rollt, wenn er aus Kalk ist und wenn er Ei-förmig ist. Olga nimmt einen Ei-förmigen Kalkstein und lässt ihn einen steilen Berg aus Sand herunterrollen (**Möglichkeit A**). Danach misst sie die Strecke.



Olga hat noch andere Möglichkeiten, die sie mit Möglichkeit A vergleichen kann:

Möglichkeit 1	Möglichkeit 2	Möglichkeit 3	Möglichkeit 4
Ei-Form	Kugel-Form	Kugel-Form	Kugel-Form
Vulkanstein	Vulkanstein	Vulkanstein	Kalkstein
Sand-Berg	Sand-Berg	Gipsberg	Sand-Berg
steil	steil	flach	steil

Kreuze nur die Antwort an, die für den Vergleich mit Möglichkeit A unbedingt nötig ist und reicht, um die Vermutung zu überprüfen.

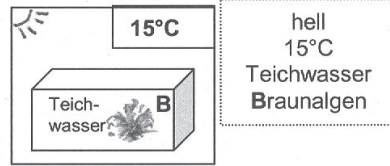
- Möglichkeiten 1 und 4
- Möglichkeit 2
- Möglichkeit 3
- Möglichkeiten 1,2 und 4

Nr. 10: **Kaulquappen**



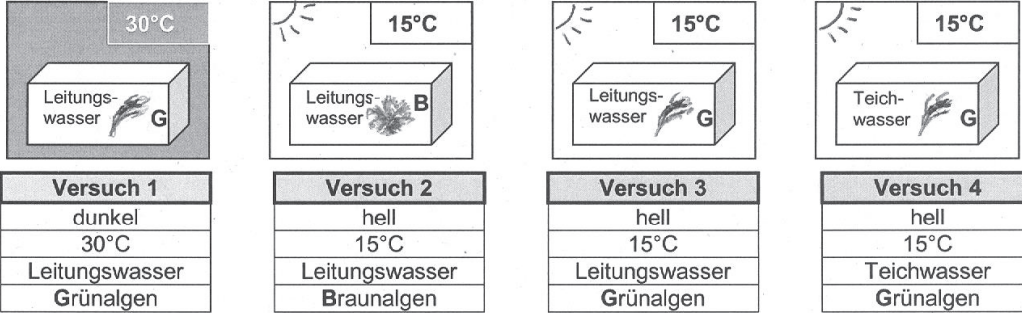
Versuch A

Silke möchte untersuchen, wie wichtig die **Art der Algen** und das **Wasser** für die Entwicklung von Kaulquappen zu Fröschen sind. Sie vermutet, dass sich die Kaulquappen langsamer zu Fröschen entwickeln, wenn sie Braunalgen zu fressen bekommen und dass sie sich langsamer entwickeln, wenn es dunkel ist. *



Silke hat in einem hellen, 15°C kühlen Raum ein Aquarium mit Teichwasser gefüllt, Braunalgen hineingepflanzt, und frisch geschlüpfte Kaulquappen hineingesetzt (**Versuch A**).

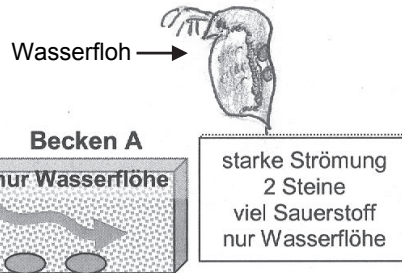
Silke hat noch andere Aquarien im Haus, die sie mit Versuch A vergleichen kann:



Kreuze nur die Antwort an, die für den Vergleich mit Versuch A unbedingt nötig ist und reicht, um die Vermutung zu überprüfen!

- Versuch 3
- Versuche 2 und 4
- Versuche 2, 3 und 4
- Versuch 1

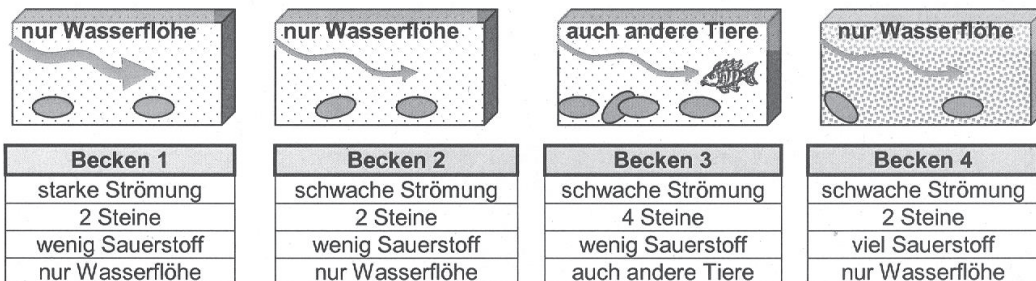
Nr. 11: **Neue Wasserfloh-Art**



Forscher haben im Urwald Südamerikas in Gewässern eine unbekannte Wasserfloh-Art entdeckt. Sie möchten untersuchen, wie wichtig die **Strömung** und der **Sauerstoff-Gehalt** im Wasser für die Bewegung des Wasserfloh sind. Die Forscher vermuten, dass sich die Tiere schneller bewegen, wenn die Strömung stark ist und dass sie sich schneller bewegen, wenn viel Sauerstoff im Wasser gelöst ist.

Die Forscher haben dazu ein Becken eingerichtet mit starker Strömung (dicker Pfeil), viel Sauerstoff im Wasser, zwei Steinen als Versteckmöglichkeit und keinen anderen Tierarten (also nur mit Wasserflöhen) (**Becken A**).

Es gibt im Labor noch andere Becken, mit denen die Forscher das Becken A vergleichen können:



Kreuze nur die Antwort an, die für den Vergleich mit Becken A unbedingt nötig ist und reicht, um die Vermutung zu überprüfen!

- Becken 1, 2 und 4
- Becken 3
- Becken 1 und 4
- Becken 2

* Korrekt müsste der vorausgehende Halbsatz lauten: „[...]“, wenn das Aquarium mit Leitungswasser gefüllt ist.“

In den folgenden Aufgaben werden Untersuchungen vorgestellt, die Wissenschaftler machen, um bestimmte Dinge herauszufinden.

Überlege jeweils: Wurden die Untersuchungen so durchgeführt, dass man die Ergebnisse ohne Zweifel deuten kann?

Nr. 12: **Wiederansiedlung von Vögeln**

Manche Vogelarten werden bei uns immer seltener. Wissenschaftler möchten untersuchen, ob sich das Abholzen von Wäldern und damit die Schaffung von naturnahen Freiflächen gut auf die Wiederansiedlung bestimmter Vogelarten auswirken. Dazu vergleicht man zwei gleich große Waldstücke in derselben Gegend, auf denen ursprünglich die gleichen Arten vorkamen. Auf einer Fläche wird der Wald abgeholzt, auf der anderen Fläche bleibt der Wald stehen. Nach zwei Jahren zählt man jeweils wieder die Anzahl von Vogelarten auf den beiden Flächen und vergleicht sie.



• **Kreuze die *eine* richtige Meinung an:**

- „Da immer Vogelarten dazukommen oder abwandern, ist es egal, wie lange man insgesamt beobachtet. Hauptsache, man vergleicht die Flächen gleichzeitig.“
- „Zwei Jahre lang zu beobachten, reicht vollkommen aus. Schließlich haben bis dahin alle Veränderungen stattgefunden.“
- „Zwei Jahre sind eine zu kurze Zeit – man müsste die Flächen viel länger beobachten.“

• **Kreuze die *eine* richtige Meinung an:**

- „Es ist gut, diese Untersuchung auf zwei Flächen durchzuführen, weil das ja ausreicht.“
- „Auch wenn es aufwändiger ist, müsste man dafür mehr Flächen untersuchen.“
- „Wie viele Flächen untersucht werden, ist nicht so wichtig, wenn richtig gearbeitet wird.“

Nr. 13: **Flusskrebse**

Dr. Krust vermutet, dass eine bestimmte Bakterien-Art bei Flusskrebse zu ungewöhnlichen Bewegungen durch die Bakterien-Giftstoffe führen könnte. In einem Aquarium wird in der Mitte eine Trennwand eingebaut. Man hält in jeder der beiden Aquarium-Hälften einen Flusskrebs. Mit einem Handschuh nähert man sich dem Krebs auf der einen Seite der Trennwand und streicht auf seinen Kopf eine Flüssigkeit mit den Bakterien; danach beobachtet man, ob es außergewöhnliche Bewegungen gibt. Diese Untersuchung wird auf die gleiche Weise bei 30 weiteren Aquarien durchgeführt.



• **Kreuze die *eine* richtige Meinung an:**

- „Wenn die Bakterien tatsächlich so etwas bewirken, dann kommt es auf die Beobachtungsdauer nicht so sehr an.“
- „Es reicht eine Beobachtung über eine Stunde, weil man die Auswirkungen schon sieht.“
- „Man sollte das Verhalten über mehrere Tage beobachten.“

• **Kreuze die *eine* richtige Meinung an:**

- „Man hätte weniger Flusskrebse untersuchen sollen: Wenn man eine gute Methode hat, erhält man auch bei einzelnen Tieren schon die richtige Deutung der Ergebnisse.“
- „Man muss viele Tiere untersuchen, um die Ergebnisse richtig deuten zu können.“
- „Es ist egal, wie viele Tiere man testet und beobachtet, wenn die Methode wissenschaftlich gut ist.“

Nr. 14: Wildschweine

„Führt Straßenlärm bei Wildschweinen dazu, dass diese weniger schlafen?“ – Um diese Frage beantworten zu können, bauen Forscher zwei gleich große Wildschwein-Gehege und setzen jeweils zwei Tiere hinein. Ein Gehege in der Nähe einer stark befahrenen Autobahn, das andere Gehege mitten in einem ruhigen Wald. Alle Wildschweine haben ein Messgerät mit Sender, das aufzeichnet, wie lange die Tiere schlafen: Fünf Wochen lang wird das Schlafverhalten der Tiere beobachtet.

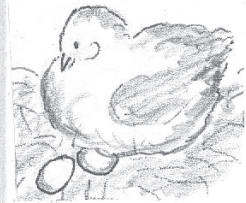


• **Kreuze die *eine* richtige Meinung an:**

- „Es werden zu wenige Gehege mit Wildschweinen untersucht – man sollte keine Kosten und Mühen sparen.“
- „Um einen Zusammenhang zwischen Lärm und Schlafen herauszufinden, kommt es nicht auf die Anzahl der untersuchten Gehege mit Wildschweinen an.“
- „Es ist gut, nur mit zwei Gehegen und vier Tieren zu arbeiten, denn das genügt. So bleibt die Untersuchung einfach und überschaubar.“

Nr. 15: Brüten

Hennen unterbrechen das Bebrüten eines Eies immer mal wieder. Folgende Frage soll untersucht werden: „Wirkt sich die Raum-Temperatur darauf aus, wie lange sich Hennen auf die Eier zum Brüten setzen?“ Dazu werden zwei Hennen, die am selben Tag ihr Ei gelegt haben, auf zwei Ställe verteilt. Im einen Stall herrschen 20°C, im anderen ist es 35°C warm. Die jeweiligen Zeiten, während der die Hennen auf den Eiern in zwei Stunden insgesamt sitzen, werden verglichen.



• **Kreuze die *eine* richtige Meinung an:**

- „Bei solchen Untersuchungen zählt die Untersuchungsmethode – wenn sie gut ist, kommt es nicht so sehr auf die Zahl der beobachteten Hennen an.“
- „Weil ein richtiger Vergleich gemacht wird, genügt es, zwei Hennen zu beobachten.“
- „Für gute Deutungen der Ergebnisse muss man auf jeden Fall mehr Hennen beobachten.“



**Toll, du bist schon weit vorangekommen!
Gleich hast du es geschafft – bleib dran!**

Nr. 16: Nährstoffe

Forscher möchten herausfinden, ob das Abholzen von Wäldern zur einer stärkeren Auswaschung und Fortspülung von Nährstoffen aus dem Boden führt. Deshalb werden zehn gleich große Waldstücke an Stellen mit ungefähr gleicher Hangneigung (Gefälle) über zwanzig Jahre untersucht: Fünf Gebiete mit Wald und fünf Gebiete, wo kurz zuvor alle Bäume gefällt und abtransportiert wurden. Man ermittelt jeweils in 30 cm Bodentiefe die Menge der vorhandenen Nährstoffe.



• **Kreuze die *eine* richtige Meinung an:**

- „Die Untersuchung hätte man auch schon nach zwei Jahren beenden können.“
- „Weil es auf diese Frage eine eindeutige Antwort geben muss, spielt die Dauer der Beobachtung keine so große Rolle.“
- „Eine sehr lange Beobachtungszeit ist hier wichtiger, als an den Aufwand zu denken.“

Nr. 17: Katzen

Uli möchte untersuchen, ob auch Katzen eine Pfote haben, die sie immer bevorzugen (wie bei den Menschen Links- und Rechtshänder). Er macht mit seiner Katze einen Test, kurz bevor er zur Schule aufbricht: „Rolle einen Tennisball zehnmal von rechts und zehnmal von links immer mit der gleichen Geschwindigkeit und immer aus gleicher Entfernung auf die Katze zu. Notiere, mit welcher Pfote die Katze nach dem Ball greift.“



• **Kreuze die *eine* richtige Meinung an:**

- „Ob man kurz oder länger untersucht – egal: Das Verhalten bleibt ja immer gleich.“
- „Gute geplante Untersuchungen kann man auch in dieser kurzen Zeit durchführen.“
- „Für eine zweifelsfreie Deutung der Ergebnisse sollte länger untersucht werden.“



Klasse, wie fleißig du warst – jetzt kannst du dir mal selbst auf die Schulter klopfen und stolz auf dich sein!!

Anmerkung. Sämtliche Handzeichnungen im Text und in den Einzelbeiträgen stammen vom Verfasser. Ausnahme: Bürgermeister in Abbildung 9-1 (Kosan, 2009).

9.2.3.3 Kodiermanuale des Leistungstests

Subtest „Experiment planen“ (1 Open Response-Item)

Testwert:

Beim Testwert handelt es sich um einen Summenwert: Pro in der Freitext-Antwort berücksichtigtem Kriterium (s. Tab. 9-1) wird ein Punkt vergeben. Durch Summierung aller erreichter Punkte ergibt sich ein aggregierter Wert (*Partial credit*-Modell).

Tab. 9-1. Kodierregeln: Subtest „Experiment planen“

Kriterium	Beschreibung
Experimentansatz	Durchführungsschritte werden nachvollziehbar geschildert und Material benannt.
1. Kontrollansatz	Ein zum Experimentansatz differenter Ansatz wird beschrieben.
1. Variablenkontrolle	Aus der Beschreibung der beiden Ansätze ist ersichtlich, dass die Variation der einen unabhängigen Variablen bei gleichzeitiger Konstanthaltung der anderen erfolgt.
2. Kontrollansatz	Ein weiterer, zum Experiment- und 1. Kontrollansatz verschiedener Ansatz wird explizit oder implizit beschrieben.
2. Variablenkontrolle	Aus der Beschreibung der drei Ansätze kann eindeutig geschlossen werden, dass die Variablenkontrolle im Vergleich des dritten Ansatzes mit einem der beiden anderen Ansätze korrekt berücksichtigt wurde.
Vergleichsgedanke	Entweder in der Beschreibung der Durchführung bzw. der Ansätze oder der Begründung der Vorgehensweise wird explizit erläutert oder implizit angedeutet, dass Ansätze paarweise verglichen werden müssen, um die Ursächlichkeit einer unabhängigen Variablen auf den interessierenden Effekt untersuchen zu können.

Subtest „Epistemische Fragen“ (3 *Open Response*-Items)

Kodierregeln:

- Bei mehreren Einzelfragen oder bei zusätzlichen durchgestrichenen, jedoch noch lesbaren Fragen (ursprüngliche Antworten) zählt immer das höchste insgesamt gezeigte Niveau.
- Eine Antwort wird als „Frage“ gewertet, wenn ein Fragewort vorkommt, auch wenn die Formulierung explizit ein Aussagesatz ist (z. B.: „Weil er wissen will, **wo** der Ball liegen bleibt.“).
- Werden die Fragewörter „Wieso“ oder „Warum“ von Versuchspersonen im Sinn von „Wozu“ verwendet (was auf den durch eine Bedingung verursachten Effekt abzielt), kommt unter Umständen ein anderes Niveau zustande.
- Ein Niveau ist nur dann erreicht, wenn die Formulierung klar zeigt, dass das unmittelbar vorausgehende Niveau auch hätte erreicht werden können (Inklusion der vorausgehenden Niveaustufen).
- Naturwissenschaftliche Frage nach Zusammenhang zweier Variablen ohne Unterscheidung zwischen UV (unabhängige Variable, mögliche Ursache) und AV (abhängige Variable, Wirkung) erhalten Code 2 (z. B. „Hängen ... und ... miteinander zusammen?“).
- Zuweisung von Kompetenzniveaus: vgl. Tabelle 9-2.

Tab. 9-2. Kodierschema: Subtest „Epistemische Fragen“

Code / Niveau	Kategorie	Beschreibung	Ankerbeispiele
-999	Nicht kodierbar	(a) Antwort ist <u>nicht eindeutig</u> den Kategorien zuzuordnen. (b) Relevantes <u>unlesbar</u> .	
0	Keine (adäquate) Frage	(a) <u>Keine</u> Frage oder (b) <u>keine naturwissenschaftlich untersuchbare</u> Frage oder (c) <u>unpassende</u> Frage oder (d) Frage, die offenbart, dass <u>kein adäquates Verständnis</u> vorliegt oder (e) <u>keine im Kontext des Stimulus relevante</u> naturwissenschaftliche Frage.	- zu (a): (Gute) Aussage, aber keine Frage. - zu (b): „Mag er Fische?“ (Nicht naturwissenschaftlich) - zu (d): „Wieso schlägt er die Nägel nicht mit einem Hammer hinein?“ - zu (e): „Warum macht er das Experiment?“ (Nicht relevant) - zu (e): „Wie oft füttert er die Fische?“ (Nicht relevant)
1	Nur eine Größe fokussiert	(a) Einfache naturwissenschaftliche Frage auf Phänomenebene (z. B. Fragen zu <u>isolierten</u> Fakten / Funktionen / Ursachen / Zweck) oder (b) Eine <u>Variable nicht explizit</u> genannt / total unklar / <u>nicht eindeutig</u> aus dem Kontext <u>abzuleiten</u> .	- zu (a): „Wie funktioniert das Einschlagen des Nagels?“ (Isolierter Sachverhalt, kein Zusammenhang) - zu (a): „Warum sind die Fische aggressiv?“ - zu (a): „Was ist ein Steinschlag?“ - zu (b): „Was passiert, wenn man die Stütze senkrecht stellt?“ (AV überhaupt nicht angedeutet / beschrieben)* - zu (b): „Wie rollt die Kugel am weitesten?“ (UV überhaupt nicht angedeutet / beschrieben)*
2	Gerichteter Kausalzusammenhang zwischen zwei Größen, ohne konkrete Vermutung	<u>Unterscheidung zwischen unabhängiger und abhängiger Variable</u> (konditionale oder funktionale Formulierung). (a) Untersuchbare, aber <u>nicht direkt überprüfbar</u> Vermutung (also nicht mit „Ja“ oder „nein“ beantwortbar): (gerichteter Kausalzusammenhang wird aufgeführt, Frage aber nicht direkt beantwortbar). >> Dabei kann es sein, dass die unabhängige Variable nicht konkret beschrieben ist, wenn diese aus dem Stimulus eindeutig hervorgeht (b) Untersuchbare Frage zu Zusammenhang, hinter der noch keine konkrete Vermutung steht >> führt zu <u>neuen Erkenntnissen</u> , also <u>nicht mit „Ja“ oder „nein“</u> beantwortbar. >> z. B. Kettenfragen.	- zu (a): „ <u>Warum</u> sind die Männchen aggressiver, wenn die Modelle rot sind?“ (gerichteter Kausalzusammenhang wird aufgeführt, Frage nach dem Zweck bzw. der Ursache aber nicht direkt beantwortbar) - zu (a): „Welches Modell greift der Fisch häufiger an?“ (Es wird zwar nicht die Eigenschaft „Farbe des Modells“ benannt, dies geht aus dem Stimulus aber klar hervor, weil dies das einzige Unterscheidungsmerkmal ist) - zu (b): „Welche Farbe / Was ruft höhere Aggressivität hervor?“ - zu (b): „Zu welchem Verhalten führt eine silberne Färbung des Modells?“

3	Überprüfbarer Kausalzusammenhang mit „ungenauer“ Vermutung	<u>Unterscheidung zwischen unabhängiger und abhängiger Variable</u> (konditionale oder funktionale Formulierung). Mit „Ja“ oder „nein“ <u>beantwortbare Frage</u> mit erkennbarer Vermutung; aber <u>nur qualitative Überprüfung</u> : Zusammenhang nicht vollständig exakt / konkret / quantifiziert beschrieben.	<ul style="list-style-type: none"> - „Wenn ich mehr Hefe dazugebe, verändert sich dann die Zeit des Hochsteigens?“ (wenn nicht beide Größen quantifiziert sind) - „Muss die Neigung der Rampe verändert werden, damit der Ball weiter rollt?“ (nicht beide Größen sind quantifiziert) - „Unterscheidet sich das Verhalten der Fische bei einer anderen Farbe des Modells?“
4	Überprüfbarer Kausalzusammenhang mit „elaborierter“ Vermutung	<p>(a) Direkt überprüfbar, da. h. eindeutig mit „Ja“ oder „Nein“ beantwortbare naturwissenschaftliche Frage zu exakt (quantitativem oder konkret) <u>beschriebenem Zusammenhang</u> zwischen Variablen; genaue(re) Beschreibung <u>beider Variablen</u>.</p> <p>(b) Wie (a), jedoch zur Problemlösung im Kontext formulierte Fragen, die über die expliziten Angaben des Stimulus hinausgehend* oder</p> <p>(c) höheres konzeptuelles Niveau – „Weiterdenken“ – zum Ausdruck bringen“).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - zu (a): „Wird der Nagel tiefer versenkt, wenn das Gewichtstück schwerer ist?“ - zu (a): „Führt das dunkelrote Modell zu mehr Aggression als das hellrote?“ - zu (b): „Würde die Hinzugabe von <u>Mineraldünger</u> dazu führen, dass auch die Rose im kleineren Topf / im Dunkeln schneller wächst?“* - zu (c): „Schwimmen die Fische einfach wegen dem Essen dorthin oder werden sie wegen dem Licht angelockt?“*

Anmerkungen. *: Im Sinne von Mayer et al. (2008) könnten solche Fragen einem höheren Niveau zugeordnet werden, was angesichts des in dieser Studie interessierenden Merkmals jedoch nicht interessierte. *: als Beispiel können nur Beispiele aus der Erprobungsstudie herangezogen werden, bei der ein Item der Rampen-Aufgabe von Chen und Klahr (1999, S. 1102 f.) nachempfunden war bzw. ein Item unterschiedliches Wachstum in Blumentöpfen und ein anderes die ritualisierte Fütterung von Aquarienfischen thematisierte.

Subtest „Unabhängige Variablen identifizieren“ (3 Open Response-Items)

Tab. 9-3. Kodierregeln: Subtest „Unabhängige Variablen identifizieren“

Regel	Antwortverhalten	Bewertung	Ankerbeispiele
A	Zu allgemeine Angabe eines Faktors – ohne Nennung einer konkreten Eigenschaft	kein Punkt	ausschließlich das Stichwort „Boden“ ist angegeben (ohne „Lockerheit“, „Temperatur“ oder „Feuchtigkeit“ etc.)
B	Verschiedene Ausprägungen oder Stufen des selben zugrundeliegenden Faktors werden genannt	ein Punkt pro Faktor	„kaltes Wasser“ und „wärmeres Wasser“ repräsentieren beide den Faktor „Wassertemperatur“
C	Inhaltlich sehr nahe stehende oder aufgrund der Beschreibung kaum voneinander trennbare Faktoren werden aufgeführt	insgesamt ein Punkt	„haben es ruhig“ und „werden nicht gestört“
D	Zwar miteinander verwandte, aber – zumindest aus Sicht der Versuchsperson – voneinander abgrenzbare Faktoren werden genannt	je ein Punkt	„feuchter Boden“ und „trockene Luft“
E	Die Aufgabenstellung wurde missverstanden und die fokussierte abhängige Variable nicht betrachtet, es wurden aber unabhängige Variablen für ein anderes Phänomen benannt, das aus einer Stimulus-Komponente prinzipiell ableitbar ist	normale Bepunktung gemäß den Regeln A bis D	Bei UV_7* wurden z. B. mögliche Ursachen für die Auslösung eines Steinschlages aufgeführt statt möglicher Faktoren für die Weite und Richtung der Steine bei einem Steinschlag

Anmerkung. *: als Beispiel können nur Beispiele aus der Erprobungsstudie herangezogen werden.

Subtest „Ansätze vergleichen“ (4 Multiple Choice-Items, je 1 korrekte Antwort)

Dieser Subtest orientiert sich an den Arbeiten von Ehmer (2008, S. 90 ff., 200 ff.) und Hammann et al. (2007, S. 39; vgl. auch Hammann et al., 2008), die ihrerseits auf dem Instrument von Phan (2007, S. 55 ff.) aufbauen. Das Kodierschema führte Phan (2007, 53) für ein-faktorielle Experimente mit zwei Kontrollvariablen ein, Ehmer (2008, S. 90 ff.) weitete es auf zweifaktorielle Experimente aus. Die hier verwendete Kodierweise würdigt stärker als bei Ehmer (2008, S. 91) den Distraktor mit „negativer Kontrolle“: es handelt sich zwar nicht um das „sparsamste“ Design, nimmt aber die Vollständigkeit der Ansatz-Vergleichspaare in den Blick.

Die Testwerte ergeben sich gemäß des *Partial credit*-Prinzips als Summenwert korrekt berücksichtigter Aspekte der Variablenkontrollstrategie und werden gemäß des *Per-fiat*-Prin-zips (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 70) als quasiintervallskalierte Werte behandelt.

Tab. 9-4. Kodierung: Subtest „Ansätze vergleichen“

Niveau	Beschreibung	Fähigkeiten, die bewusstes Ankreuzen voraussetzt			Testwert
		Differenzierung zwi-schen Test- und Kon-trollgrößen	VOTAT-Strategie	sparsamstes Design: pro Testgröße einen Kontrollansatz	
IV	zwei Kontrollansätze zum vorgegebenen Hauptansatz, keine Konfundierung	x	x	x	3
III	drei Kontrollansätze (Menge korrekt aufeinander <i>beziehbarer</i> Ansätze, <i>mögliche</i> Konfundierung bei „negativer Kontrolle“)	x	x		2
II	Unterscheidung von Test- und Kontrollvariablen aber offenkundige einfache Konfundierung (beide Testgrößen verändert; nur ein Kontrollansatz)	x			1
I	<i>Change all</i> -Strategie (alle Variablen-Ausprägungen verändert; nur ein Kontrollansatz)				0

Anmerkungen. x: berücksichtigt. VOTAT: Vary one thing at (a) time: Variation einer isolierten Testvariablen bei gleichzeitiger Konstanthaltung aller anderen (Kontroll-)Variablen.

Subtest**„Verständnis für die Bedeutung von Beobachtungsdauer und Stichprobengröße“**

(8 *Single Multiple Choice*-Items)

Ein Punkt pro korrekt angekreuzte Antwortalternative (lange Beobachtungsdauer bzw. umfangreiche Stichprobe).

9.2.3.4 Fragebogen zum Autonomieerleben

Informationen für dich

Umfrage **VOR**

1.) Geheim-Name:

Trage dafür in die ersten drei Kästchen die **ersten drei Buchstaben Deines Vornamens** ein, dann die **ersten drei Buchstaben Deines Nachnamens** und zum Schluss Deine **Hausnummer**. Es ist wichtig, dass Du es genau so einträgst:

Beispiel: Peter Lustig, Bauwagenstraße 100

Und jetzt Du (trage deinen Geheim-Namen ein!):

P E T L U S 100
Vorname / Nachname / Hausnummer

--	--	--	--	--	--	--	--

2.) Meinungsumfrage:

>> Kreuze den Kreis an der Stelle an, die zeigt, wie stark du persönlich dem jeweiligen Satz zustimmst – es gibt keine „guten“ oder „schlechten“ Antworten. Das Kreuz ist dort „richtig“, wo es deine persönliche Meinung am besten anzeigt (niemand erfährt deinen Namen). Wir können diesen Fragebogen nur auswerten, wenn du bei allem ehrlich bist. Bitte mache bei allen Sätzen ein Kreuz!

Wie stark trifft die Aussage auf dich persönlich zu?

	Stimmt überhaupt nicht 1	2	3	4	5	Stimmt ganz genau 6
Beim Experimentieren im NWA-Unterricht wird uns in den vergangenen Wochen beigebracht, selbstständig zu arbeiten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
In den vergangenen Wochen wurden wir von unserer Lehrkraft ermuntert, beim Experimentieren im NWA-Unterricht eigene Lösungen zu finden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
In den vergangenen Wochen haben wir beim Experimentieren im NWA-Unterricht die Möglichkeit, etwas Neues eigenständig zu bearbeiten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Beim Experimentieren im NWA-Unterricht bekommen wir in den vergangenen Wochen oft die Möglichkeit, Aufgaben auf unsere Art zu erledigen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Beim Experimentieren im NWA-Unterricht gibt es in den vergangenen Wochen Zeiten, in denen wir selbstständig arbeiten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Beim Experimentieren im NWA-Unterricht habe ich in den vergangenen Wochen das Gefühl, dass ich eigene Entscheidungen treffen kann.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

[Verändert nach Kunter, M. (2005). *Multiple Ziele im Mathematikunterricht*. Münster: Waxmann. S. 120, 288.]

9.2.4 Einzelbeitrag mit Schwerpunkt auf Messung und Förderung domänenspezifischer experimenteller Kompetenzen: Rösch (2015)

ZDB: Externe Validität ökologischer Experimente einschätzen können. Befunde und Überlegungen zu - Internet Explorer
http://zdb.uni-bielefeld.de/index.php/zdb/article/view/315

Biologie Lehren und Lernen – Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)

Startseite > Archiv > Bd. 19, Nr. 1 (2015) > Rösch

Externe Validität ökologischer Experimente einschätzen können. Befunde und Überlegungen zur Messung und Förderung

Frank Rösch

Lebende Systeme angemessen zu verstehen, setzt Wissen über Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen deren Elementen und mit deren Umgebung voraus. Entsprechende Erkenntnisse zu gewinnen, erfordert Kompetenzen für die eigenständige Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten sowie deren kritische Beurteilung. In der Ökologie sind angesichts der Systemkomplexität in besonderem Maß auch Überlegungen zur Tragweite experimenteller Befunde nötig. Zur Erfassung eines niederschweligen Verständnisses für zwei Aspekte der externen Validität wurde ein schriftliches Testinstrument entwickelt und validiert sowie die dimensionale Struktur des Konstrukts analysiert. Lernende der 6. (n = 79) und der 9. Klassenstufe (n = 50) (Gymnasien) weisen eine ähnlich niedrige Performanz auf. In Klassenstufe 6 (N = 472, Realschulen) erweist sich das operationalisierte Konstrukt als eindimensional; in einer Interventionsstudie (n = 320) wurden dort keine Effekte des untersuchten Treatments festgestellt. Die Befunde legen Maßnahmen zur Steigerung der Sensitivität, Validität und Reliabilität des vorgestellten Messinstruments nahe. Überdies erscheint es lohnenswert zu klären, ob die Kombination aus ökologischen Realexperimenten, dem Training systemischen Denkens und PC-Simulationen eine spätere Förderung der anspruchsvollen Fähigkeit begünstigen könnte.

Schlagworte
Experimentieren, Kompetenzen, Validität, Ökologie, Systemisches Denken

Startseite

Aktuelle Ausgabe

Archiv

Suche

Über uns

<http://zdb.uni-bielefeld.de/index.php/zdb/article/view/315> (04.04.2017)

Nutzung des Beitrags in diesem Rahmen mit freundlicher Genehmigung der Herausgeberschaft

Frank Rösch

Pädagogische Hochschule Ludwigsburg

Externe Validität ökologischer Experimente einschätzen können. Befunde und Überlegungen zur Messung und Förderung

Knowing How to Judge the External Validity of Ecological Experiments. Empirical Findings and Considerations for Measuring and Promoting

Lebende Systeme angemessen zu verstehen, setzt Wissen über Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen deren Elementen und mit deren Umgebung voraus. Entsprechende Erkenntnisse zu gewinnen, erfordert Kompetenzen für die eigenständige Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten sowie deren kritische Beurteilung. In der Ökologie sind angesichts der Systemkomplexität in besonderem Maß auch Überlegungen zur Tragweite experimenteller Befunde nötig. Zur Erfassung eines niederschweligen Verständnisses für zwei Aspekte der externen Validität wurde ein schriftliches Testinstrument entwickelt und validiert sowie die dimensionale Struktur des Konstrukts analysiert. Lernende der 6. ($n = 79$) und der 9. Klassenstufe ($n = 50$) (Gymnasien) weisen eine ähnlich niedrige Performanz auf. In Klassenstufe 6 ($N = 472$, Realschulen) erweist sich das operationalisierte Konstrukt als eindimensional; in einer Interventionsstudie ($n = 320$) wurden dort keine Effekte des untersuchten Treatments festgestellt. Die Befunde legen Maßnahmen zur Steigerung der Sensitivität, Validität und Reliabilität des vorgestellten Messinstruments nahe. Überdies erscheint es lohnenswert zu klären, ob die Kombination aus ökologischen Realexperimenten, dem Training systemischen Denkens und PC-Simulationen eine spätere Förderung der anspruchsvollen Fähigkeit begünstigen könnte.

Schlüsselwörter: Experimentieren, Kompetenzen, Validität, Ökologie, Systemisches Denken.

In order to understand a biological system, knowledge of cause-and-effect relationships between its elements and with their surroundings is necessary. Gaining this knowledge requires competencies in planning and executing experiments, data analysis, and critical assessment of their design. The complexity of ecological systems places a particularly high demand on the ability to determine the validity of experimental findings. We have developed and validated a written instrument that probes the understanding of two basic aspects of external validity and analyzed the dimensional structure of the construct. We could observe that students (grammar school) in grades 6 ($n = 79$) and 9 ($n = 50$) show similar, low, performance on the test. In grade 6 ($N = 472$; average-performing students), we found that the construct is one-dimensional; an intervention study ($n = 320$) showed no training effect. Obviously, the sensitivity, the validity, and the reliability of the reported test instrument have to be improved. Besides, the question is raised whether promotion of this cognitively challenging skill could be fostered at a later development stage by a combination of real experiments, training in systems thinking, and computer simulations.

Keywords: experimentation, competencies, validity, ecology, systems thinking.

1 Einleitung

Anthropogene Eingriffe verändern auf kurze oder lange Sicht Elemente, Strukturen, Funktionsweisen und Eigenschaften natürlicher Systeme (Smith & Smith, 2009, S. 554, 756 ff., 778 ff.). Da systemisches Denken das Verständnis von Ökosystemen und den verantwortungsvollen, nachhaltigen Umgang damit begünstigen kann (Bräutigam, 2014, S. 24; Riess & Mischo, 2010), stellt es ein wichtiges Bildungsziel von Biologieunterricht dar (KMK, 2005, S. 8 ff.). Dazu gehört u. a. Wissen über Strukturen von Systemen, Interaktionen zwischen deren Elementen sowie Ursache-Wirkungsbeziehungen mit Faktoren aus der Systemumgebung (Riess & Mischo, 2010). Als Instrument kausalanalytischer Erkenntnisgewinnung (Schulz, Wirtz & Starauschek, 2012) kommt dem Experiment somit auch in der Ökologie (Smith & Smith, 2009, S. 17 ff.) und im Hinblick auf ökologische Grundbildung und Umweltbildung große Bedeutung zu (McBride, Brewer, Berkowitz & Borrie, 2013).

Die Förderung von Kompetenzen zur eigenständigen Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten ist in den Bildungsstandards aller naturwissenschaftlichen Fächer(verbünde) verankert (KMK, 2005, S. 10, 14): Lernende sollen dazu befähigt werden, sowohl aussagekräftige Experimente selbst zu planen und durchzuführen, als auch Sicherheit, Belastbarkeit und Grenzen vorgegebener Untersuchungen einzuschätzen (Arnold, Kremer & Mayer, 2013). Die Fähigkeiten, externe Validität zu beurteilen bzw. zu beachten, wurden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung bislang wenig berücksichtigt. Angesichts der fehlenden Präzisierung input- und prozessorientierter Standards in aktuellen Bildungsplänen ergeben sich für die biologiedidaktische Forschung wichtige Fragen: (a) Welche Teilfähigkeiten umfassen Standards wie „erörtern Tragweite und Grenzen“ und „beurteilen die Aussagekraft“ von Experimenten (KMK, 2005, S. 14)? (b) Wie lassen sich diese Kompetenzen valide operationalisieren sowie adressatengerecht, ressourcenadäquat und reliabel zur Diagnostik bzw. Evaluation von Unterricht erfassen? (c) In welcher Altersstufe ist eine systematische Förderung möglich bzw. effizient? (d) Welche Domäne eignet sich als Lernkontext besonders? (e) Welche Lernumgebungen begünstigen den Kompetenzerwerb?

Im Mittelpunkt dieses Beitrags stehen Teilstudien eines Projekts, das in der biologiedidaktischen Unterrichtsforschung angesiedelt ist. Mit der Entwicklung und Erprobung eines Testinstruments für Klassenstufe 6 zur Messung eines niederschweligen Verständnisses für Aspekte externer Validität wurden dabei neue Wege beschritten. Darüber hinaus wird von Erfahrungen mit dieser Operationalisierung bei der Evaluation eines kontextbasierten sowie problem- und kompetenzorientierten Trainingskonzepts in der komplexen Domäne Ökologie berichtet. Theoretisch-konzeptionelle Überlegungen widmen sich abschließend der Frage, inwiefern systemisches Denken und computerbasierte Simulationen den Kompetenzaufbau in höheren Klassen unterstützen könnten.

2 Theoretischer Hintergrund und Stand der Forschung

2.1 Aussagekraft von Experimenten

Echte Experimente lassen sich methodologisch und epistemologisch von Versuchen und anderen s. g. experimentellen Arbeitsformen abgrenzen (Schulz et al., 2012). So erfordert die Prüfung von Hypothesen zu Ursache-Wirkungsbeziehungen die planmäßige, systematische Manipulation von Naturvorgängen unter Beachtung bestimmter Regeln: Eine als Ursache in Frage kommende Systemgröße (unabhängige Variable, Testgröße) wird von allen anderen Faktoren isoliert und als einzige variiert. Jene müssen für einen aussagekräftigen Vergleich in Kontrollansätzen bestmöglich kontrolliert werden (Bortz & Döring, 2006, S. 57, 526 ff.). Je eindeutiger die Wirkung auf eine Effektgröße (abhängige Variable) auf eine bestimmte Ursache zurückgeführt werden kann, desto höher ist die *interne Validität*. Diese ist für die Generalisierbarkeit der in einem Experiment gewonnenen Erkenntnisse zwar notwendig, jedoch nicht hinreichend. Die Übertragbarkeit experimenteller Befunde ergibt sich vielmehr aus deren *externen Validität*. Ob von einem Experiment auf andere verallgemeinert werden kann, hängt von diversen Aspekten ab (ebd., S. 504): von der Repräsentativität der untersuchten Stichprobe für die Population, dem Untersuchungszeitpunkt und der Beobachtungsdauer, der Ähnlichkeit zwischen spezifischen situationalen und örtlichen Umständen mit natürlichen Settings (man spricht hier von *ökologischer Validität*), den Untersuchungsmethoden und ihren Auswirkungen auf die Forschungsobjekte sowie bei reduktionistischem Vorgehen von den Eigenschaften und der Komplexität des fokussierten (Sub-)Systems mit Blick auf das interessierende Originalsystem.

2.2 Experimentieren als naturwissenschaftlicher Problemlöseprozess

Eigenständiges Experimentieren stellt aus kognitionspsychologischer Sicht einen komplexen Problemlöseprozess dar: Aus einem naturwissenschaftlichen Phänomen Fragen abzuleiten, auf der Basis kognitiver Modelle begründete Hypothesen zu formulieren, ein geeignetes unkonfundiertes Experiment zu planen, es durchzuführen und erhobene Daten angemessen zu interpretieren, erfordert zahlreiche Kenntnisse, Fertigkeiten und mentale Leistungen wie etwa metakognitive Fähigkeiten zur Selbstregulation (Eckhardt, 2010, S. 22) sowie wissenschaftliches Denken (Arnold et al., 2013). Dazu gehören auch deklaratives Methoden- und prozedurales Wissen (Mayer, Grube & Möller, 2008). Kenntnisse und Umsetzungsvermögen zur Steigerung von Reliabilität und Validität sind z. B. bei Überlegungen zu Einfluss- und Störgrößen, speziellen Systemeigenschaften und multiplen oder interagierend wirkenden Ursachen (Keselman, 2003) von Bedeutung: bei der Planung, kritisch reflektierten Durchführung sowie Diskussion und Einschätzung der Übertragbarkeit von Befunden. Verständnis für externe Validität stellt somit eine anspruchsvolle Komponente experimenteller Problemlösefähigkeit dar und tangiert alle Dimensionen des Kompetenzbereichs *Erkenntnisgewinnung*: „Arbeitstechniken“ (z. B. Messgenauigkeit, -wiederholungen), „Wissenschaftliche Erkenntnismethoden“ (z. B. experimentelle Denkweise und Strategien zum Erwerb belastbarer Befunde) sowie „Wissenschaftsverständnis“ (z. B. Sicherheit und Begrenztheit von Laborbefunden) (Mayer & Ziemek, 2006, S. 5).

2.3 Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit

Im Rahmen forschenden Lernens (Mayer & Ziemek, 2006) können schon Grundschüler effektiv an die eigenständige Nutzung des Kontrollansatzes und der Variablenkontrollstrategie (Klahr & Nigam, 2004) sowie 6.-Klässler an ein Verständnis multivariater Kausalität (Keselman, 2003) herangeführt werden. Zur Förderung eines Bewusstseins für externe Validität fehlen nach unserem Wissen bislang Erkenntnisse. Angesichts eines Anstiegs der Performanz diverser wissenschaftsmethodischer Kompetenzen über die Schuljahre (Mayer et al., 2008) ist anzunehmen, dass neben unterrichtlicher Förderung auch die kognitive Entwicklung eine Rolle spielt. Erkenntnisse über das *Verständnis interner Validität* legen das nahe: Diesbezüglich ist bei Kindern früh ein niederschwelliges Bewusstsein zu beobachten, das dazu befähigt, korrekte Vorgehensweisen zu identifizieren, während die spontane eigenständige Planung aussagekräftiger Experimente noch nicht gelingt (Schneider, Bullock & Sodian, 1998). Sollten – mit Blick auf vermutlich höhere kognitive Anforderungen des *Verständnisses für externe Validität* (s. Abschn. 2.2, 2.4) – Fördermaßnahmen erst bei älteren Lernenden ergriffen werden? Ohne dies auf empirische Studien zurückzuführen, schlug z. B. Meyer (1978, S. 24 f.) vor, den Vergleich von Befunden verschiedener Experimente bzw. die kritische Beurteilung der Versuchsdurchführung erst ab Klassenstufe 8 bzw. 9 zu trainieren. Vor diesem Hintergrund stellen Erkenntnisse zum möglichen Zeitpunkt für den Beginn des gezielten Kompetenzaufbaus ein wichtiges Forschungsdesiderat der Biologiedidaktik dar.

Als besonders wirkungsvoll und ohne Einbußen für Problemlösefähigkeit oder Transferleistung (Klahr & Nigam, 2004) haben sich bei anderen experimentellen Kompetenzen explizites Training, Reflexion und instruktionale Unterstützung i. S. des moderaten Konstruktivismus⁴ erwiesen (Ehmer, 2008; Kirschner, Sweller & Clark, 2006; Urhahne & Harms, 2006), z. B. gemäß des *Cognitive Apprenticeship*-Ansatzes (Keselman, 2003): Neben der direkten Vermittlung von Kompetenzen tragen hier instruktionale Maßnahmen wie Hilfen zur Prozessregulation zur Reduktion der Belastung des Gedächtnis-Arbeitsspeichers bei (Kirschner et al., 2006), was die Performanz begünstigt.

Unverzichtbar sind bei der Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit zweifelsohne Realexperimente (Baumann, Simon, Wonisch & Guttenberger, 2013): In Echtzeit werden dabei Primärerfahrungen in den Originalsystemen gesammelt. Im Umgang mit Organismen, Geräten und Techniken können methodologische Planungen unmittelbar realisiert und optimiert sowie Fehler anschaulich analysiert werden.

Eine Alternative bzw. Ergänzung hierzu stellt computergestütztes forschendes Lernen dar, welches mittlerweile in der didaktischen Forschung sämtlicher MINT-Fächer eingesetzt wird: Anhand computerbasierter interaktiver Experimentierumgebungen erwerben Lernende in Modellsystemen durch dynamisches Problemlösen (Leutner, Wirth, Klieme & Funke, 2005) Wissen über Ursache-Wirkungsbeziehungen (Eckhardt, 2010, S. 43, 205 f.; Keselman, 2003, Leutner et al., 2005; Riess & Mischo, 2010). Simulationen ermöglichen, selbst in komplexeren Systemen Erkenntnisse zu gewinnen, was in Realexperimenten nur schwer realisierbar wäre (Baumann et al., 2013; Smith & Smith, 2009, S. 864; Urhahne & Harms, 2006). Dies ist nicht nur gefahrlos und ethisch unbedenklich, sondern auch weniger zeit- und ressourcenaufwändig und reduziert sowohl die intrinsische kognitive Belastung als auch die

mit lebenden Organismen verbundene Ablenkung sowie die Komplexität der betrachteten Systeme. Adaptive Prompts können dabei individualisiert und prozessbegleitend die Selbstregulation, Strategienutzung und Wissensaneignung unterstützen (Eckhardt, 2010, S. 66 ff., 208; Keselman, 2003), solange sie keine zu hohe kognitive Belastung verursachen (Eckhardt, 2010, S. 206 ff.; Urhahne & Harms, 2006). Baumann et al. (2013) zufolge sind mit computerbasierten Experimenten keine Nachteile hinsichtlich Wissenszuwachs und Behaltensleistung, dafür aber Vorteile hinsichtlich der Binnendifferenzierung verbunden.

Bislang wurde die Förderung experimenteller Kompetenzen (v. a. bezüglich der Variablenkontrollstrategie) isoliert untersucht (z. B. Ehmer, 2008; Klahr & Nigam, 2004). Mit Blick auf hochkomplexe, schwer untersuchbare lebende Systeme sowie auf deren internen und externen Störgrößen, zeitliche Dynamik und Variabilität (Bräutigam, 2014, S. 23 f.), die beim Experimentieren eine Rolle spielen, ergibt sich die Frage, ob für die Förderung eines Verständnisses externer Validität im integrativen bzw. vorausgehenden Training systemischen Denkens in der spezifischen Domäne sowie im Einbezug von computerbasierten Simulationen (Riess & Mischo, 2010) eine besondere Chance liegen könnte (s. Abschn. 2.4, 2.6, 5).

Domänen- bzw. kontextspezifische Herausforderungen können den Lernprozess mit Experimenten entweder begünstigen oder beeinträchtigen (Keselman, 2003). Die Forschung zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit widmete sich bislang kaum der externen Validität und klammerte herausforderndere Experimente eher aus (Klahr & Nigam, 2004). Viele Studien nutzen weniger komplexe Domänen als Ökologie (Rösch, in Vorbereitung; Rösch, Rieß & Nerb, 2012). Insofern ist zu klären, ob sich diese als Lernkontext zum Aufbau eines Verständnisses für externe Validität eignet.

2.4 Externe Validität bei ökologischen Experimenten

Ökologische Experimente zu planen, durchzuführen und deren Design bzw. Befunde bezüglich Belastbarkeit und Generalisierbarkeit zu beurteilen, ist besonders anspruchsvoll: Kausalzusammenhänge sind in hochkomplexen, nicht linearen zeitlich dynamischen Systemen mit emergenten Eigenschaften, vielen interagierenden Faktoren und unterschiedlichsten Typen von Wechselbeziehungen verortet. Phänomene sind aufgrund intra- und interindividueller Variabilität sowie diverser anderer externer und interner Ursachen i. d. R. nur begrenzt kalkulierbar (Bräutigam, 2014, S. 13 ff.; Riess & Mischo, 2010; Schulz et al., 2012; Smith & Smith, 2009). Einzelbefunde, v. a. auf Basis von geringmächtigen oder Klumpenstichproben, und Kurzzeitbeobachtungen weisen eine geringe Reliabilität und relativ hohe Wahrscheinlichkeit für Stichprobenfehler auf (Bortz & Döring, 2006, S. 435 f.), was die externe Validität begrenzt. Bei Untersuchungen in unnatürlichen Zusammenhängen (z. B. bei Labor-, Mikro- oder Mesokosmos-Experimenten) ist auch die ökologische Validität reduziert. Die Erkenntnis, dass all diese Aspekte der Erkenntnisgewinnung Grenzen setzen, ist ein wichtiger Beitrag zum Wissenschaftsverständnis (Mayer & Ziemek, 2006).

In der Domäne Ökologie lassen sich ergo zahlreiche Aspekte der externen, v. a. auch ökologischen Validität ansprechen und deren Bedeutung für die Sicherheit, Belastbarkeit und Übertragbarkeit experimenteller Befunde sowie besondere Charakteristika biologischer Untersuchungen erarbeiten. Für den schulischen Kontext ist zu klären, wie sich ein

entsprechendes Verständnis operationalisieren lässt, welche Dimensionen es aufweist und welche davon wann unterrichtlich förderbar sind.

2.5 Messung des Verständnisses für Kriterien externer Validität und Befunde

In welchem Maß Lernende Aspekte der externen Validität bzw. damit verbundener Reliabilität tatsächlich erkennen bzw. berücksichtigen, lässt sich mithilfe verschiedener *Assessmentmethoden* erfassen. Diese unterscheiden sich u. a. bezüglich Prozessorientierung und Realitätsnähe, Situationsmerkmalen der Messung, Kontextbezug, fokussierten Phasen bzw. Vollständigkeit des experimentellen Problemlöseprozesses sowie Problemtyp (analytische bzw. dynamische Aspekte; Leutner et al., 2005). Die Analyse von *Realexperimenten* (Beobachtung, Videographie oder Lernprozessgrafiken als Grundlage), Logfile-Daten in *computerbasierten interaktiven Simulationen* oder *prozessorientierten Protokollen* erfasst auch selbstregulative Aspekte des experimentellen, dynamischen Problemlöseprozesses (ebd.), was die Validität dieser Messmethoden erhöht (Emden & Sumfleth, 2012; Hammann, Phan, Ehmer & Grimm, 2008). Des Weiteren können *Produkte* von Experimenten, *Conceptmaps* sowie *Interviews* zur Diagnose herangezogen werden (Klahr & Nigam, 2004). Bei großen Stichproben werden jedoch häufig *paper and pencil-Tests* als eine ökonomischere Methode eingesetzt (Ehmer, 2008; Emden & Sumfleth, 2012) – so auch in den Untersuchungen dieses Beitrags. Problematisch ist dabei die geringere Validität des Messverfahrens infolge reduzierter Komplexität, Authentizität, Vollständigkeit und fehlender Interaktion (Hammann et al., 2008). In vielen Studien findet das geschlossene Single- bzw. Multiple-Choice-Format Verwendung (z. B. ebd.; Ehmer, 2008), welches v. a. kognitiv weniger anspruchsvolle Aktivitäten wie Reproduzieren und Selegieren erfasst (Kauertz, Fischer, Mayer, Sumfleth & Walpuski, 2010). Überdies verzerrt dabei Rateverhalten die Befunde. Freitext-Items (Arnold et al., 2013; Ehmer, 2008; Hammann et al., 2008; Mayer et al., 2008) sind ebenfalls nur begrenzt valide, erfordern aber zumindest die kontextangemessene Reorganisation oder gar den Transfer und die Synthese von Problemlöseoperatoren (Kauertz et al., 2010). Verständnis lässt sich hier über die Begründung einer eigenständig erdachten oder aus Vorschlägen ausgewählten Handlungsoption erfassen. Bei Freitext-Items zur Experimentplanung zeigen Probanden der gymnasialen Oberstufe (Arnold et al., 2013) ähnlich Lernenden der Sekundarstufe I (Mayer et al., 2008) wenig Bewusstsein für Stichprobengröße, Versuchsdauer, Messzeiten und -wiederholung, welche sich auf die externe Validität auswirken. Dies könnte entweder mit dem hohen kognitiven Anspruch entsprechender Kompetenzen zusammenhängen oder auf ungenügende Förderung hinweisen. Ob Lernende im Biologieunterricht Gelegenheit erhalten, ein Bewusstsein für die besondere Komplexität und für wichtige Aspekte der externen Validität ökologischer Experimente aufzubauen, und darin gezielt unterstützt werden, beleuchtet der folgende Abschnitt.

2.6 Systematischer Aufbau von Kompetenzen zur externen Validität im Unterricht?

Einer Befragung von Lehrkräften (Düppers, 1975) zufolge spielten Langzeit- und Freilandexperimente vor vier Jahrzehnten im Biologieunterricht nur eine untergeordnete

Rolle. Wenngleich keine aktuelle Analyse der realen unterrichtlichen Praxis vorliegt, deutet Manches darauf hin, dass sich bis heute nicht viel geändert haben dürfte: So zeigt eine Analyse zeitgenössischer Schulbücher und Lehrerhandreichungen der 5. und 6. Klassenstufe in Baden-Württemberg (Rösch, 2013), dass bei den dort vorgeschlagenen Schülerexperimenten praktisch weder die Beurteilung der Aussagekraft, Sicherheit und Übertragbarkeit eine Rolle spielt, noch Stichprobenumfang und Beobachtungsdauer als Kriterien externer Validität thematisiert werden. In vielen Anregungen für Schülerexperimente (z. B. Eckebrecht, Eckebrecht & Kluge, 2006; Freytag, 2007) finden sich auch in höheren Klassenstufen v. a. Kurzzeit- bzw. gut kontrollierbare Labor- oder Mehrspezies-Mikrokosmos-Experimente. Externe und speziell ökologische Validität, Messwiederholungen, zeitliche Dynamik, längerfristige Effekte sowie intra- bzw. interindividuelle Variabilität und Replikationen werden kaum berücksichtigt, das Vorhandensein von Störgrößen oft ausgeblendet. Insgesamt erhalten Lernende selten die Gelegenheit, eigenständig zu experimentieren (Prenzel, Artelt, Baumert, Blum, Hammann, Klieme & Pekrun, 2007).

3 (Ein) Verständnis für Aspekte externer Validität in Klassenstufe 6 fördern?

Um Fragen zur Kompetenzstruktur und Förderbarkeit eines niederschweligen Verständnisses für die Bedeutung von ausgewählten Kriterien externer Validität zu klären, wurde 2010 in 6. Realschulklassen in Baden-Württemberg im Fächerverbund *Naturwissenschaftliches Arbeiten* eine quasiexperimentelle Feldstudie mit Klumpenstichprobe durchgeführt (Roesch, Nerb & Riess, 2015; Rösch et al., 2012). Mit der *Beobachtungsdauer* und der *Stichprobengröße* wurden zwei Kriterien für externe Validität ausgewählt, die bei ökologischen Experimenten bereits in der Orientierungsstufe phänomenologisch-anschaulich erlebt und bei der Planung sowie Auswertung von Experimenten bedacht und konkret reflektiert werden können – andere Aspekte hingegen erachteten wir für diese Klassenstufe als zu abstrakt. Folgende *Forschungsfragen* aus dem Fragenkatalog eines umfangreicheren Forschungsprojekts stehen im Fokus dieses Beitrags:

Erstens wurde die *Dimensionalität* des Konstrukts untersucht: Im Hinblick auf eine valide Messung und gezielte künftige Förderung sollte geklärt werden, ob das Konstrukt in der konkreten Operationalisierung ein- oder zweidimensional ist (s. Abschn. 3.3). Theoriegeleitet wurde angenommen, dass das Verständnis für die Bedeutung der *Beobachtungsdauer* bzw. *Stichprobengröße* zwei empirisch unterscheidbare Teilkonstrukte darstellt: Es ist z. B. denkbar, dass ein Proband um die zeitliche Dynamik und Veränderlichkeit lebender Systeme sowie um die Existenz von Langzeiteffekten weiß, jedoch kein Bewusstsein dafür hat, dass Effekte auf bestimmte Einflüsse interindividuell variabel sind, wodurch die gewählte Stichprobe(ngröße) die Generalisierbarkeit der experimentellen Befunde beeinflusst. Von Interesse war zweitens, in welcher *Ausprägung* ein basales Verständnis in der 6. Klassenstufe bereits vorliegt (s. Abschn. 3.4), und drittens, ob dort eine effektive *Förderung* anhand eines spezifischen Treatments möglich ist (s. ebd.). Mit Blick auf die Erkenntnisse zum Verständnis

für domänenübergreifende Grundlagen des Experimentierens (s. Abschn. 2.3) wurde angenommen, dass auch für Aspekte der externen Validität bereits ein basales Verständnis trainiert werden könne. Für die im Folgenden berichteten Teilstudien gibt Tabelle 1 einen Überblick über die jeweiligen (Teil-)Stichproben und deren Eigenschaften bzw. Zusammenhang.

Tabelle 1
Zusammensetzung der berichteten (Teil-)Stichproben

Phase	Intention(en)	Eigenschaften	SchA	KlSt	n	Alter (J.)		
						M	SD	h(♀)
Vorstudie	Item-, Skalenanalyse, Itemauswahl, Überprüfung der Test-Sensitivität	1 Klasse	HS	6	18	11.6	0.7	61 %
		3 Klassen	GY	6	79	11.5	0.6	67 %
		2 Klassen	GY	9	50	14.4	0.6	46 %
Hauptstudie	Untersuchung der Dimensionalität, Konstruktvalidierung	zusammengesetzt aus mehreren Experimentalgruppen ^{*x}	RS	6	431	11.9	0.5	44 %
					bzw. 472 [#]			
	Evaluation der Treatmentwirkung (Intervention)	^x davon EXP [†]	RS	6	109	11.8	0.5	49 %
		^x davon SYS [†]	RS	6	127	11.8	0.5	49 %
	^x davon KG _{Öko} [†]	RS	6	84	11.8	0.6	39 %	

Anmerkungen. SchA: Schulart. KlSt: Klassenstufe. n: Umfang der (Teil-)Stichprobe. J.: Jahre. M: Mittelwert. SD: Standardabweichung. h(♀): Anteil der Mädchen. *: auch aus solchen, die im Rahmen dieses Beitrags nicht berichtet werden; vgl. Bräutigam (2014), Roesch et al. (2015), Rösch et al. (2012), Vogel et al. (2011). HS: Hauptschule. GY: Gymnasium. RS: Realschule. EXP: Treatmentgruppe mit Konzept zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit. SYS: Treatmentgruppe mit Konzept zur Förderung systemischen Denkens. †: Teilmenge der jeweiligen Gruppe innerhalb der Gesamtstichprobe (n) aufgrund von Missing Data zu einem der Messzeitpunkte. KG_{Öko}: Kontrollgruppe (gleiche Ökologiethemata). #: Probandenzahl zum Pretest- / Posttest-Zeitpunkt.

3.1 Entwicklung und Erprobung des Messinstruments


3.1.1 Operationalisierung

Auf Basis der klassischen Testtheorie wurde in mehreren Vorstudien ein multidimensionaler *paper-and-pencil*-Leistungstest für experimentelle Problemlösefähigkeit entwickelt (Rösch et al., 2012). Dieser enthielt u. a. auch Items zum Verständnis für die beiden o. g. Kriterien der externen Validität von Experimenten in komplexen lebenden Systemen. In den ersten Vorstudien wurden diverse Freitext-Formate erprobt, darunter Items mit vorgegebenen Experimenten, deren externe Validität gut bzw. schlecht ausgeprägt war und von den Probanden ausführlich beurteilt werden sollte. Bodeneffekte zeigten, dass die meisten 6.-

Klässler an Realschulen Schwierigkeiten haben, solche Arbeitsaufträge zu verstehen bzw. sie angemessen zu beantworten, was die Validität der Datenerhebung beeinträchtigte. Vermutlich ist bei dieser Zielgruppe die Fähigkeit zur Identifikation angemessener Forschungsdesigns bzw. adäquater Begründungen eher ausgeprägt bzw. förderbar (s. Abschn. 2.3). Für eine alternative Operationalisierung sprachen zudem der insgesamt sehr umfangreiche im Projekt eingesetzte Leistungstest (Bräutigam, 2014, S. 189 ff.; Rösch et al., 2012) sowie die begrenzte Konzentrationsfähigkeit der Probanden.

Daher fiel die Wahl auf das Single-Choice-Antwortformat (Bühner, 2011, S. 117). In der von uns vorgenommenen Operationalisierung galt es einzuschätzen, ob in konkret beschriebenen ökologischen Experimenten z. B. eine kurze *Beobachtungsdauer* bzw. eine kleine *Stichprobe* für belastbare und übertragbare Schlussfolgerungen angemessen sind (vgl. Beispiel-Items in Abb. 1, (a) bzw. (b)). Bei den Experiment-Beschreibungen mancher Items sind hingegen längere Beobachtungszeiträume bzw. größere Stichproben angesprochen, und es wird gefragt, ob für die angemessene Interpretation des Experiments auch kurze Zeiträume bzw. kleine Stichproben ausgereicht hätten (s. Tab. 7, Anhang). Die Items gliedern sich in einen strukturgleichen Stamm mit einem Text-Stimulus und einer Abbildung zur Veranschaulichung sowie ein Antwortfeld. Von drei Antwortoptionen ist die korrekte anzukreuzen.

Manche Vogelarten werden bei uns immer seltener. Wissenschaftler möchten untersuchen, ob sich das Abholzen von Wäldern und damit die Schaffung von naturnahen Freiflächen gut auf die Wiederansiedlung bestimmter Vogelarten auswirken. Dazu vergleicht man zwei gleich große Waldstücke in derselben Gegend, auf denen ursprünglich die gleichen Arten vorkamen. Auf einer Fläche wird der Wald abgeholzt, auf der anderen Fläche bleibt der Wald stehen. Nach zwei Jahren zählt man jeweils wieder die Anzahl von Vogelarten auf den beiden Flächen und vergleicht sie.



Wurde die Untersuchung so durchgeführt, dass man die Ergebnisse ohne Zweifel deuten kann?
Kreuze bei (a) und bei (b) jeweils die Meinung an, die richtig ist!

(a)

- „Da immer Vogelarten dazukommen oder abwandern, ist es egal, wie lange man insgesamt beobachtet. Hauptsache, man vergleicht die Flächen gleichzeitig.“
- „Zwei Jahre lang zu beobachten, reicht vollkommen aus. Schließlich haben bis dahin alle Veränderungen stattgefunden.“
- „Zwei Jahre sind eine zu kurze Zeit – man müsste die Flächen viel länger beobachten.“

(b)

- „Es ist gut, diese Untersuchung auf zwei Flächen durchzuführen, weil das ja ausreicht.“
- „Auch wenn es aufwändiger ist, müsste man dafür mehr Flächen untersuchen.“
- „Wie viele Flächen untersucht werden, ist nicht so wichtig, wenn richtig gearbeitet wird.“

Abbildung 1. Beispielaufgabe mit Items zu (a) Beobachtungsdauer und (b) Stichprobengröße (Zeichnung: Verfasser)

Neben der eigentlichen Lösung gibt es zwei Distraktoren, die in Vorstudien beobachteten Fehlkonzepten nachempfunden sind. Anhand von Begründungen wurde versucht, deren Plausibilität und damit Attraktivität zu erhöhen (vgl. Abb. 1; Bühner, 2011, S. 119). Korrekt bearbeiteten Items wurde der Wert 1 zugeordnet, falsch beantworteten Items der Wert 0. Bei der statistischen Auswertung wurde das arithmetische Mittel der Items berechnet. Eine Ergänzung dieses Antwortformats um Freitext-Items zur Begründung des Ankreuzverhaltens hätte die Validität der Kompetenzmessung erhöht, konnte jedoch aufgrund der begrenzten Bearbeitungszeit nicht vorgenommen werden.

3.1.2 Erprobung des Messinstruments

Bei der kriteriengeleiteten Optimierung des Tests wurde das Antwortformat besser an die Zielgruppe adaptiert und der Umfang des Subtests im Hinblick auf die begrenzte Bearbeitungszeit reduziert. In der letzten Vorstudie (s. Tab. 1) wurden für die Aspekte *Beobachtungsdauer* bzw. *Stichprobengröße* je zwölf Items erprobt. Tabelle 7 (s. Anhang) gibt einen Überblick über die Kontexte dieser Items und zeigt, auf welche Weise die Kriterien *Beobachtungsdauer* bzw. *Stichprobengröße* in den Items beachtet wurden. Anhand einer Item- und Skalenanalyse (Bühner, 2011, S. 216 ff.) wurden aus den Itempools jeweils die vier Items ausgewählt, die aufgrund ihrer Kennwerte in der Stichprobe der Vorstudie am geeignetsten erschienen. Anders als in der Hauptstudie standen für diese Vorstudie keine Realschulklassen zur Verfügung. Um für die o. g. Analysen die statistische Varianz zu erhöhen, wurden eine vermutlich etwas leistungsschwächere Hauptschul- und mehrere Gymnasialklassen miteinbezogen (s. Tab. 1). Die *Skalenreliabilität* für die acht binären Items wurde mit MPlus 6.1 (Muthén & Muthén, 2010; s. Abschn. 3.3) anhand des Verfahrens von Raykov, Dimitrov und Asparouhov (2010) unter Nutzung der ML (Maximum Likelihood)-Methode geschätzt. Da zu diesem Zeitpunkt noch nicht bekannt war, ob die postulierten Kompetenzdimensionen *Beobachtungsdauer* und *Stichprobengröße* in der Hauptstudie zur Untersuchung der Treatment-Wirksamkeit in einer einzigen Skala oder getrennt in zwei Subskalen behandelt würden, wurde die Skalenreliabilität für dreierlei Item-Batterien ermittelt: Sie beträgt in der Gesamtstichprobe ($N = 147$) .74 für die Gesamtskala (acht Items) sowie .52 für die Subskalen *Beobachtungsdauer* (vier Items) bzw. .69 für *Stichprobengröße* (vier Items). Diese Werte sind z. T. nicht zufriedenstellend, genügen jedoch für Gruppenvergleiche (Lienert & Raatz, 1998, S. 14). Wie sich in der Hauptstudie zeigte, führte der moderate Stichprobenumfang der Vorstudie ($N = 147$) zu Stichprobenfehlern (Bühner, 2011, S. 169) hinsichtlich der Skaleneigenschaften und Eignung der Items.

Zur Überprüfung der Sensitivität des Instruments wurden die Mittelwerte der jeweils gepoolten 6. und 9. Gymnasialklassen anhand von *t*-Tests für unabhängige Stichproben mithilfe der Software IBM SPSS Statistics 22 verglichen: Es wurde angenommen, dass die Performanz infolge fortgeschrittener kognitiver Entwicklung, höheren Domänenwissens und größeren Erfahrungsschatzes bei 9.-Klässlern ausgeprägter sei. In dieser schularthomogenen Stichprobe ($n = 129$) beträgt die Skalenreliabilität für die Gesamtskala .75 und für die Subskalen *Beobachtungsdauer* und *Stichprobengröße* .49 bzw. .70. Das Instrument erwies sich hier sowohl bezüglich der Gesamtskala als auch der beiden Subskalen als nicht

ausreichend sensitiv (s. Tab. 2.). Deskriptivstatistisch sind die Mittelwerte der 9. Klassenstufe zwar gleich groß bzw. hypothesenkonform sogar größer als in der 6. Klasse. Die Durchschnittswerte des Verständnisses für die *Stichprobengröße* unterscheiden sich marginal signifikant – zu erwarten wären jedoch jeweils signifikante Unterschiede.

Tabelle 2

Ergebnisse des Mittelwertvergleichs zwischen 6. und 9. Klassenstufe (Vorstudie, Gymnasium)

Itembatterie	Klassenstufe				<i>t</i> -Test (unabhängige Gruppen)			
	6		9		<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
	<i>M^a</i>	<i>SD</i>	<i>M^a</i>	<i>SD</i>				
Gesamtskala*	.47	.30	.50	.25	-0.71	127	.24	0.11
<i>Beobachtungsdauer^x</i>	.56	.32	.55	.24	0.20	124.2	.42	-0.03
<i>Stichprobengröße^x</i>	.37	.35	.46	.35	-1.29	127	.10	0.26

Anmerkung. *: Gesamtskala zur externen Validität mit 8 Items. ^x: Subskala mit je 4 Items. *M^a*: arithmetisches Mittel der jeweils gültig bearbeiteten Items, *SD*: Standardabweichung, *t*: *t*-Wert (Prüfgröße). *df*: Freiheitsgrade. *p*: Irrtumswahrscheinlichkeit (einseitig). *d*: (entspr. der untersch. *n*) korrigierte Effektstärke (Cohens *d*).

Wird bei der Hypothesenprüfung die 6. Hauptschulklasse miteinbezogen, so indiziert das Messinstrument zumindest bezüglich der Subskala *Stichprobengröße* hypothesenkonform einen signifikanten kleinen Mittelwertunterschied zwischen 6. (*M* = .35, *SD* = .34) und 9. Klassenstufe (*M* = .46, *SD* = .35), $t(145) = -1.71$, $p < .05$, $d = .34$. Zusammenfassend betrachtet ist zu vermuten, dass die realisierte Operationalisierung zwar die Indikation von größeren Performanzunterschieden gestattet, die Sensitivität jedoch begrenzt ist. Der durch kognitive Reifung oder Förderung erklärbarer Unterschied zwischen den Klassenstufen hält sich womöglich in Grenzen. Das Verständnis, dass bei Experimenten mit lebenden Systemen längere Beobachtungsdauern zu höherer Aussagekraft führen, ist in beiden Klassenstufen stärker ausgeprägt als das Verständnis für die Bedeutung der Stichprobengröße (s. auch Tab. 4). Denkbare Ursachen für dieses Phänomen könnten unterschiedlich hohe kognitive Anforderungen oder eine unterschiedlich explizite Thematisierung dieser Kriterien für externe Validität im Alltag sein.

3.2 Überblick über die Interventionsstudie

Die Interventionsstudie zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit, darunter auch des *Verständnisses für die Bedeutung von Beobachtungsdauer und Stichprobengröße*, war in einem größeren, mehrere Teilstudien umfassenden Forschungsprojekt angesiedelt. In diesem sollte die Effektivität von Unterrichtskonzepten ohne computerbasierte Lernumgebung zur Förderung (a) experimenteller Problemlösefähigkeit (Roesch et al., 2015; Roesch et al., 2012) bzw. (b) systemischen Denkens (Bräutigam, 2014, S. 133; Vogel, Rieß & Nerb, 2011) in einem Pretest-Posttest-Design untersucht werden. Dazu wurden unabhängig voneinander spezifische Treatmentgruppen mit einer adäquaten Kontrollgruppe hinsichtlich der in den Studien jeweils fokussierten Kompetenzen verglichen. Der Pretest fand vor der Intervention

statt, der Posttest zwei Wochen danach. Der Unterricht wurde in allen Klassen durch die Fachlehrkräfte erteilt, wobei für die Treatmentgruppen EXP und SYS Fortbildungen durchgeführt wurden und detaillierte Handreichungen vorlagen. Für das Gesamtprojekt bot sich der Lernkontext „Waldökologie“ an: Einerseits können Fragen interner *und* externer Validität bei Experimenten gut thematisiert werden (s. Abschn. 2.4, 2.6). Anhand intraökosystemarer Phänomene und der Verzahnung von Öko- mit Human-Systemen lässt sich andererseits auch systemisches Denken einführen (Bräutigam, 2014, S. 12 ff.; Riess & Mischo, 2010). Überdies können alle vier Kompetenzbereiche der Bildungsstandards i. S. einer Bildung für nachhaltige Entwicklung miteinbezogen werden (KMK, 2005, S. 7, 13 ff.; Roesch et al., 2015).

Im Mittelpunkt dieses Beitrags steht die Treatmentgruppe EXP (s. Tab. 1). Im Verlauf der insgesamt 13 Stunden an der Schule und 2 Tage am Naturschutzzentrum „Ruhstein“ (Nationalpark Schwarzwald) umfassenden Intervention (Roesch et al., 2015; Rösch et al., 2012; Vogel et al., 2011) beschäftigten sich die Lernenden zunächst 8 Unterrichtsstunden an der Schule bzw. einen Tag lang im „Waldklassenzimmer“ des Naturschutzzentrums mit domänenübergreifenden Aspekten und Strategien experimenteller Erkenntnisgewinnung; diese betrafen u. a. die Schritte des hypothetisch-deduktiven Verfahrens, die Formulierung epistemischer Fragen, die systematische Suche im Hypothesenraum, die Bedeutung von Kontrollansätzen sowie die Variablenkontrollstrategie. Die Lernenden befassten sich dabei mit relativ gut kontrollierbaren ein- und zweifaktoriellen Experimenten. Anschließend setzten sie sich mit Aspekten wie Störgrößen, Variabilität und Dynamik in lebenden Systemen auseinander, welche sich auf die Sicherheit, Aussagekraft und Übertragbarkeit experimenteller Befunde auswirken. Dazu befassten sich diese Klassen in den fünf folgenden Schulstunden sowie am zweiten Naturschutzzentrum-Tag auch mit der Steigerung der externen Validität (z. B. Messwiederholungen, längere Beobachtungsdauer, größere Stichproben) sowie mit den Grenzen der Übertragbarkeit von Befunden aus Labor- bzw. Modellexperimenten (s. Abb. 2).

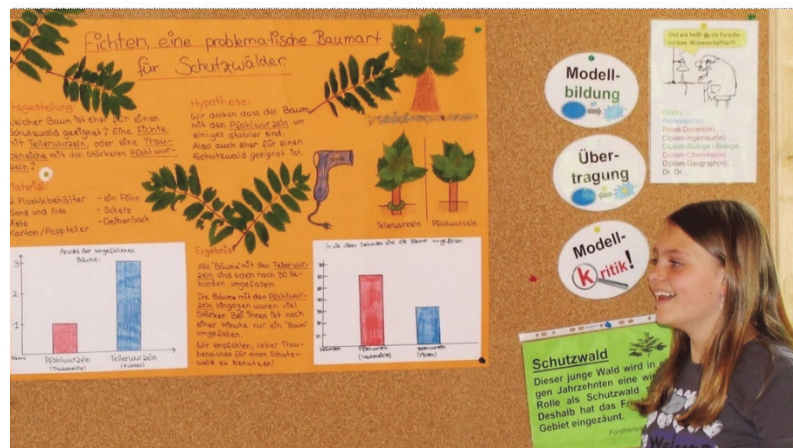


Abbildung 2. Lernende präsentieren Design, Befunde und Interpretation eigener Modellexperimente zu Funktionen von Schutzwäldern und diskutieren Aspekte der Validität (Foto: Verfasser)

Zu den Lernaktivitäten gehörten die hypothesenprüfende, kritisch reflektierende Auswertung vorgegebener Langzeituntersuchungen (Populationsschwankungen bei Borkenkäfern und Bekämpfungsstrategien), Untersuchungsaufträge zur Zersetzung, die handlungsorientierte Analyse von Sukzessionsstadien sowie die Durchführung eigener Langzeit-, ethologischer und Modell-Experimente (Einflüsse auf Samenkeimung und Pflanzenwachstum, Ortspräferenz bei Asseln, Schutzfunktionen von Wäldern). Anhand expliziter Reflexion (Arbeitsblätter, Unterrichtsgespräche, Diskussionen) wurden die Erkenntnisse gefestigt, angewandt und vertieft. Instruktionale Unterstützung sollte die Selbstregulation begünstigen, z. B. in Form von Karten mit gestuften Hilfen. Zu Beginn wurde jeweils auch mit Lösungsbeispielen gearbeitet.

Das Treatment einer zweiten Experimentalgruppe SYS (s. Tab. 1) zur Förderung systemischen Denkens war dazu inhaltlich bestmöglich parallelisiert (Bräutigam, 2014, S. 110, 133). Dort wurde an den Tagen am Naturschutzzentrum z. T. auch handlungsorientiert gearbeitet, jedoch weder experimentiert, noch wurden Aspekte der Reliabilität oder Validität angesprochen. Die beteiligten Schulklassen befassten sich mit der Definition und allgemeinen Eigenschaften von Systemen. Anschließend lernten die Probanden Elemente von Waldökosystemen und deren Interaktionen kennen, modellierten System-Ausschnitte mithilfe symbolischer Darstellungsformen und entwickelten Erklärungen sowie Prognosen für das dynamische Systemverhalten, indem sie anhand der Modelle mögliche Dynamiken simulierten (ebd.; Vogel et al., 2011). Dabei erfuhren sie, wie systemisches Denken helfen kann, authentische Problemsituationen zu bearbeiten und Erkenntnisse zu gewinnen.

Die Kontrollgruppe KG_{Öko} (s. Tab. 1) erhielt Unterricht ohne ein spezifisches Konzept zur Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit oder systemischen Denkens. Gemäß der verbindlichen Bildungsstandards spielten aber auch dort naturwissenschaftliche Erkenntnismethoden eine Rolle (KMK, 2005, S. 10 f., 14). Durch die inhaltliche Parallelisierung wurden die gleichen ökologischen Inhalte wie in EXP und SYS behandelt (mit minimalen Abstrichen aus pragmatischen Gründen). Neben dieser Kontrollgruppe gab es im Gesamtprojekt noch weitere, sodass den folgenden Ausführungen z. T. eine größere Gesamtstichprobe zugrunde liegt (vgl. Tab. 1).

3.3 Untersuchung der Dimensionalität, Konstruktvalidität und Skalenreliabilität

Die Hypothese zur Dimensionalität (s. Abschn. 3) wurde in mehreren Schritten überprüft. Die vier Items BD_1 bis BD_4, welche die Beobachtungsdauer thematisierten, wurden dazu in einem ersten, zweifaktoriellen Modell (A) dem postulierten Faktor *Verständnis für die Bedeutung der Beobachtungsdauer* (BD) zugeordnet, die vier Items ST_1 bis ST_4 zur Stichprobengröße dem Faktor *Verständnis für die Bedeutung der Stichprobengröße* (ST) (s. Abb. 3). Dem wurde ein zweites, einfaktorielles Modell (B) gegenübergestellt, in dem alle acht Items dem gemeinsamen Faktor *Verständnis für die Bedeutung von Beobachtungsdauer und Stichprobengröße* zuordnet sind (s. Abb. 4).

Aufgrund der Item-Codierung wurde die hypothesenprüfende Konstruktvalidierung in Form von Parameterschätzungen sowie Modellanalysen und -vergleichen mit der Software MPlus 6.1 (Muthén & Muthén, 2010) anhand der Posttest-Werte von 472 Versuchspersonen aus

verschiedenen Experimentalgruppen des Projekts durchgeführt (s. o.; Tab. 1) – diese über die hier berichteten Gruppen EXP, SYS und KG_{Öko} (s. Abschn. 3.2, 3.4) hinausreichende Stichprobe ist repräsentativer. Die Daten werden dabei als dichotome kategorial skalierte Indikatoren aufgefasst (Muthén & Muthén, 2010, S. 488). MPlus 6.1 verwendet das WLSMV-Schätzverfahren (Weighted Least Squares Means and Variance adjusted estimation) (ebd., S. 58), welches zu den ADF-(Asymptotically Distribution-Free-) Methoden zählt (Schermelleh-Engel, Moosbrugger & Müller, 2003) und auf Basis der Probabilistischen Testtheorie das 2PL (Zwei-Parameter-Logistische)-Modell (Birnbaum, 1968) nutzt (Bühner, 2011, S. 503 ff.). Für binäre und kategoriale sowie nicht multivariat normalverteilte Daten stellt es im Gegensatz zur ML-(Maximum-Likelihood-) Methode i. A. das angemessenere Verfahren dar (Schermelleh-Engel et al., 2003; Beauducel & Herzberg, 2006).

Zunächst wurde in einer Konfirmatorischen Faktorenanalyse erster Ordnung die Alternativhypothese getestet, es handele sich um zwei empirisch differente Faktoren (Muthén & Muthén, 2010, S. 399 f.) (s. Abb. 3). Zwecks Modellidentifikation wurde in Modell (A) als Spezifikation die Varianz beider Faktoren auf 1.00 fixiert (Bühner, 2011, S. 398).

Im Anschluss wurde die Nullhypothese getestet, die postulierten Faktoren (BD) und (ST) seien empirisch nicht unterscheidbar. Das entsprechende Modell (B) ist ein restriktiveres (Muthén & Muthén, 2010, S. 670), genestetes „Untermmodell“ (Bühner, 2011, S. 542; Schermelleh-Engel et al., 2003), welches als weitere theoretische Annahme zwischen den beiden Faktoren (BD) und (ST) eine perfekte Interkorrelation von 1.00 verwendet, diese also künstlich gleichsetzt (s. Abb. 4).

Neben den Abbildungen 3 und 4 ermöglicht Tabelle 3 eine Synopse wichtiger Modell-Fit-Indikatoren dieser Modelle. Beide erfüllen die Voraussetzung signifikanter Faktorladungen (Korrelation des Faktors mit der jeweiligen manifesten Variablen), die jedoch nicht alle über .60 liegen. Niedrige Indikatorreliabilitäten (durch den Faktor aufgeklärte systematische Varianzanteile; Bühner, 2011, S. 310) der manifesten Variablen sind in der sozialempirischen Forschung nicht selten (Beauducel & Herzberg, 2006). Sie liegen hier z. T. unter .40 und indizieren eine gewisse Heterogenität der Faktoren (Bühner, 2011, S. 453): Vermutlich wird ein (unterschiedlich großer) Teil der Varianz auch durch andere Faktoren beeinflusst (ebd., S. 119), was die Testvalidität und die Reliabilitätswerte reduziert.

Tabelle 3

Fit-Indizes der Modelle (A) und (B) (N = 472)

Modell	df	χ^2	χ^2/df	RMSEA	CI90	CFI	TLI
zweifaktoriell (A)	19	39.056**	2.056	0.047	[0.026; 0.068]	0.969	0.954
einfaktoriell (B)	20	42.993**	2.150	0.049	[0.029; 0.070]	0.964	0.950

Anmerkungen. df: Freiheitsgrade. **: $p < .01$. χ^2/df : normed χ^2 . RMSEA: Root Mean Square Error of Approximation. CI90: 90-prozentiges Konfidenzintervall des RMSEA. CFI: Comparative Fit Index. TLI: Tucker-Lewis-Index.

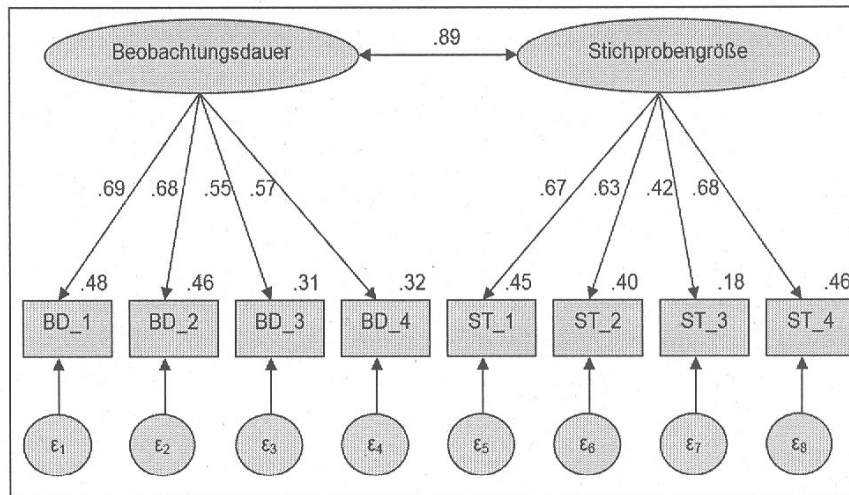


Abbildung 3. Strukturgleichungsmodell des zweifaktoriellen Modells (A) ($N = 472$)

Anmerkungen. BD_i: Item i für Verständnis für die Bedeutung der Beobachtungsdauer, ST_j: Item j für Verständnis für die Bedeutung der Stichprobengröße. ϵ_k : Fehlervariable der manifesten Variable k. Die Werte an den Pfeilen geben die geschätzten standardisierten Faktorladungen der Items wieder, die Werte an den Items (Rechtecke) deren jeweilige geschätzte Indikatorreliabilität. $p < .001$.

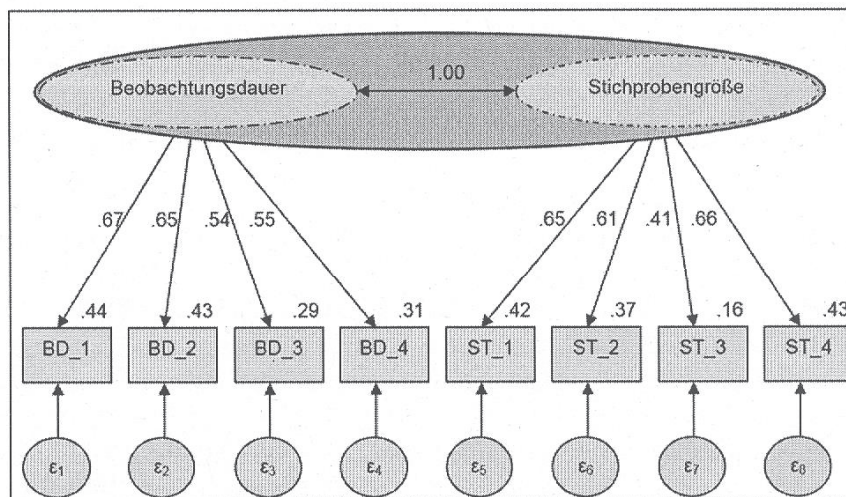


Abbildung 4. Strukturgleichungsmodell des genesteten „unifaktoriellen“ Modells (B) ($N = 472$)

Anmerkungen. S. Abb. 3. Der durch Fixierung der Interkorrelation der Faktoren auf 1.00 künstlich geschaffene Einzel-Faktor ist dunkel schattiert angedeutet (großes Oval).

Der Vergleich der Kennwerte für die Gesamtpassung der theoretisch fundierten Modelle (A) bzw. (B) mit den Daten (Globaler Signifikanztest χ^2 bzw. *normed* χ^2) bzw. anderer Fit-Indizes zeigt, dass diese nah beieinander und zum Großteil noch in einem akzeptablen Gütebereich liegen (ebd., S. 418 ff.; Schermelleh-Engel et al., 2003). Das zweifaktorielle Modell (A) scheint dem einfaktoriellen Modell (B) minimal überlegen zu sein. Vor diesem Hintergrund wurde anhand eines χ^2 -Differenztests für hierarchisch geschachtelte Modelle (Bühner, 2011, S. 542; Muthén & Muthén, 2010, S. 434 f.) untersucht, ob die empirische Passung des restriktiveren Modells (B) signifikant von Modell (A) abweicht, mit Modell (B) also eine Verschlechterung der Schätzung verbunden ist. Der geringe Unterschied, $\chi^2(1) = 3.904$, $p = .048$, spricht jedoch nicht für eine besonders gute Differenzierbarkeit der beiden Modelle: angesichts der relativ großen Stichprobe, die mit einer höheren Teststärke einhergeht (Bühner, 2011, S. 419 f.), ergibt sich ein größeres α -Fehler-Risiko. Um dieses zu reduzieren, legten wir überdies das Signifikanzniveau bei $\alpha = .01$ fest.

Auch die sehr hohe Interkorrelation der Faktoren ($r = .89$, $p < .001$) spricht gegen diskriminante Validität der postulierten Faktoren und für eine starke Redundanz der jeweils erklärten Informationen. Somit fassten wir bei der Evaluation der Intervention i. d. R. alle acht Items zu *einer* Itembatterie zusammen und betrachteten sie als Indikatoren *eines* zugrundeliegenden Konstrukts *Verständnis für die Bedeutung von Beobachtungsdauer und Stichprobengröße*.

Die *Augenscheinvalidität* (Bühner, 2011, S. 62) ist differenziert zu betrachten: Durch das Itemformat kann – sofern kein Rateverhalten vorliegt – die Reorganisation von Kenntnissen überprüft werden, nicht jedoch divergentes oder gar dynamisches Problemlösen. Ohne Begründung des Antwortverhaltens ist zwar keine Aussage über das zugrunde liegende Verständnis ableitbar, andererseits spielt so die verbale Ausdrucksfähigkeit keine Rolle. Weitere Einschränkungen der Validität werden in Kapitel 4 diskutiert. Das in diesem Beitrag fokussierte Konstrukt lässt sich i. S. *diskriminanter Validität* von allgemeinen kognitiven Fähigkeiten und der Schulnote in Naturwissenschaftlichem Arbeiten abgrenzen (Rösch et al., 2012).

3.4 Untersuchung von Grundperformanz und Treatmentwirkung

Wie Tabelle 4 zeigt, variiert der Schwierigkeitsindex P_i der Items – also der Prozentsatz bzw. hier die Prozentzahl der jeweils korrekten Antworten (Bühner, 2011, S. 222) – stark mit dem Aufgabenkontext, $21.8 < P_i < 66.6$. Dies lässt darauf schließen, dass bereichsspezifisches Vorwissen bzw. kontextbezogene Präkonzepte das Antwortverhalten merklich beeinflussen. In der 6. Klassenstufe wählt durchschnittlich lediglich knapp jede zweite Versuchsperson die korrekte Antwort beim Aspekt *Beobachtungsdauer*. Das Verständnis für eine angemessene *Stichprobengröße* und somit auch für intra- bzw. interspezifische Variabilität ist unter diesen Probanden deutlich geringer ausgeprägt (vgl. auch Tab. 2).

Um die Hypothese zu überprüfen, die Lernumgebung der Experimentalbedingung EXP könne das fokussierte Merkmal fördern, führten wir mithilfe der Software IBM SPSS Statistics 22 anhand der Posttest-Werte Kovarianzanalysen (ANCOVAs) durch. Dabei wurde der Pretest-Wert als Kovariate herangezogen. Mit .58 im Pretest ($N = 431$; s. Tab. 1) und .71 im Posttest ($N = 472$) der Hauptstudie reicht die Reliabilität der Gesamtskala (acht Items) für

Gruppenvergleiche aus. Während *andere* Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit durch das Treatment EXP stärker als in der Kontrollgruppe KG_{Öko} gefördert wurden (Rösch et al., 2012), überstiegen die Mittelwerte des *Verständnisses für die Bedeutung von Beobachtungsdauer und Stichprobengröße* in EXP zwar die Mittelwerte von KG_{Öko} deskriptiv (s. Tab. 5), jedoch nicht signifikant, $F(1,190) = 0.09, p = .39$ (einseitig).

Tabelle 4

Schwierigkeitsindizes der Items zur externen Validität (Hauptstudie, Pretest, Gruppen EXP, KG_{Öko} und SYS, N = 320)

Subskala Beobachtungsdauer				Subskala Stichprobengröße				Skala		
<i>P</i> _{BD_1}	<i>P</i> _{BD_2}	<i>P</i> _{BD_3}	<i>P</i> _{BD_4}	<i>P</i> _{M_BD}	<i>P</i> _{ST_1}	<i>P</i> _{ST_2}	<i>P</i> _{ST_3}	<i>P</i> _{ST_4}	<i>P</i> _{M_ST}	<i>P</i> _{M_ges}
35.4	66.5	56.6	36.4	48.7	39.8	51.7	21.9	35.6	37.3	43.0

Anmerkungen. *P_i*: Schwierigkeitsindex der dichotomen Items, gültige Prozent-Sätze (s. Text). BD: Beobachtungsdauer. *M*: arithmetisches Mittel der (Sub-)Skalen-Items. ST: Stichprobengröße. ges: Gesamtskala.

Tabelle 5

Deskriptive Statistiken und Parameterschätzungen der Gesamtskala zur externen Validität (Hauptstudie)

Gruppe	<i>n</i>	Messzeitpunkt				ANCOVA Parameterschätzung			
		Pretest		Posttest		EXP vs. KG _{Öko}		SYS vs. KG _{Öko}	
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M_b</i>	<i>SE</i>	<i>M_b</i>	<i>SE</i>
EXP	109	.44	.23	.46	.28	.45*	.02		
KG _{Öko}	84	.38	.20	.43	.24	.44*	.03	.46 ^x	.03
SYS	127	.45	.24	.50	.29			.49 ^x	.02

Anmerkungen. *n*: Anzahl der Versuchspersonen. *M*: Mittelwert der arithmetischen Mittel der bearbeiteten Items. *SD*: Standardabweichung. *M_b*: geschätzter bereinigter Mittelwert (korrigiert, adjustiert). *: Kovariate werden im Modell für den Pretestwert .41 ausgewertet. ^x: dito für den Pretestwert .42. *SE*: Standardfehler.

Obwohl das Treatment SYS primär für die Untersuchung der Förderbarkeit systemischen Denkens entwickelt wurde (Bräutigam, 2014; Vogel et al., 2011), war es infolge der Parallelisierung der Experimentalbedingungen möglich, auch dessen Effekte auf Komponenten experimenteller Problemlösefähigkeit zu betrachten. Da eine systemische Perspektive u. a. komplexe Wechselwirkungen zwischen Systemelementen und damit verbundene Störgrößen und zeitliche bzw. interindividuelle Variabilität sowie die Systemdynamik in den Blick nimmt, interessierte uns, ob sich auch allein das Training systemischen Denkens positiv auf das *Verständnis für die Bedeutung von Beobachtungsdauer und Stichprobengröße* auswirken würde, ohne dass die externe Validität von Experimenten behandelt wurde. Die Gruppe SYS erreichte gegenüber KG_{Öko} auf deskriptiver Ebene höhere Mittelwerte, die jedoch nicht überzufällig groß ausfielen, $F(1,208) = 0.86, p = .18$ (einseitig). In einer differenzierteren Analyse wurden die theoretisch postulierten zwei Komponenten des Konstrukts auch getrennt betrachtet. Bezüglich der Subskala *Beobachtungsdauer* wurden sowohl für das Treatment EXP als auch für SYS positive Effekte auf den Kompetenzaufbau

erwartet. Die Skalenreliabilität der Subskala *Beobachtungsdauer* (4 Items) betrug im Pretest des gesamten Forschungsprojekts .50 ($N = 431$) und im Posttest .58 ($N = 472$), was für Gruppenvergleiche genügt. Die Befunde zeigen einen interessanten Sachverhalt (s. Tab. 6): Während zwischen den Gruppen EXP und KG_{Öko} kein Mittelwertunterschied beobachtet wurde, $F(1,190) < .001$, $p = .50$ (einseitig), liegen die Mittelwerte von SYS nach der Intervention signifikant über jenen von KG_{Öko}: $F(1,208) = 3.29$, $p < .05$ (einseitig), der Effekt ist klein, $\text{part. } \eta^2 = .02$.

Tabelle 6

Deskriptive Statistiken und Parameterschätzungen der Subskala Beobachtungsdauer (Hauptstudie)

Gruppe	n	Messzeitpunkt				ANCOVA Parameterschätzung			
		Pretest		Posttest		EXP vs. KG _{Öko}		SYS vs. KG _{Öko}	
		M	SD	M	SD	M _b	SE	M _b	SE
EXP	109	.49	.28	.48	.33	.47*	.03		
KG _{Öko}	84	.46	.27	.47	.31	.47*	.03	.48 ^x	.03
SYS	127	.51	.31	.56	.32			.56 ^x	.03

Anmerkungen. n: Anzahl der Versuchspersonen. M: Mittelwert der arithmetischen Mittel der bearbeiteten Items. SD: Standardabweichung. M_b: geschätzter bereinigter Mittelwert (korrigiert, adjustiert). SE: Standardfehler. *: Kovariate werden im Modell für den Pretestwert .48 ausgewertet. ^x: dito für den Pretestwert .49.

4 Zusammenfassung und Diskussion

Im Mittelpunkt dieses Beitrags stand das Grundverständnis für zwei Kriterien externer Validität beim Experimentieren, welches in der Domäne Ökologie untersucht wurde. Die Operationalisierung des *Verständnisses für die Bedeutung von Beobachtungsdauer und Stichprobengröße* ist eingeschränkt valide, jedoch gut an die Zielgruppe adaptiert (s. Abschn. 2.5, 3.2) und ermöglicht eine objektive, ökonomische Auswertung. In der untersuchten Stichprobe der 6. Klassenstufe sind die zwei theoretisch postulierten Teildimensionen des Konstrukts empirisch praktisch nicht zu unterscheiden, was u. a. durch die relativ niedrigen Faktorladungen und die Inhomogenität der Items bedingt sein könnte. Theoretisch denkbar wäre auch, dass die beiden vermuteten Faktoren u. U. auf ein „gemeinsames übergeordnetes Konstrukt“ zurückzuführen sind (Mayer et al., 2008, S. 71).

Die niedrige Performanz in Klassenstufe 6 überrascht angesichts der Befunde von Arnold et al. (2013) nicht gänzlich; sie stützt überdies die Ergebnisse von Mayer et al. (2008) (s. Abschn. 2.5). Erstaunlich erscheint sie jedoch vor dem Hintergrund, dass das vorliegende Antwortformat eine geringere Herausforderung darstellt als ein offenes (s. Abschn. 2.3, 2.5) und die Aspekte der externen Validität im Verlauf des Treatments anschaulich erfahren und explizit reflektiert wurden. Für dieses Phänomen sowie für den geringen relativen Leistungszuwachs in der Treatmentgruppe EXP kommen verschiedene Ursachen infrage – vermutlich in Kombination: (a) hoher Abstraktions- und somit kognitiver Anforderungsgrad der Kompetenz mit Blick auf die Altersstufe; (b) geringes vorhandenes Domänenwissen

sowie relativ weiter Transfer zwischen Unterrichtsinhalten und Testitems; (c) suboptimale Gestaltung der Lernumgebung – z. B. bezüglich Dauer, Übungsmöglichkeiten, extrinsischer kognitiver Belastung durch Art von Lernaktivitäten, -kontext oder Medien (Kirschner et al., 2006). Angesichts mehr oder weniger großer Effekte bei anderen kognitiven experimentellen Kompetenzen in dieser Klassenstufe (Ehmer, 2008; Klahr & Nigam, 2004; Rösch et al., 2012), expliziter Trainingsmaßnahmen (Kirschner et al., 2006) sowie geringer Unterschiede zwischen Unter-, Mittel- und Oberstufe weiterführender Schulen (s. o.; Abschn. 2.5) ergibt sich der Befund vermutlich v. a. aus dem kognitivem Entwicklungsstand, hohen mentalen Anforderungen dieser Kompetenz (s. Abschn. 2.2) und dem anspruchsvollen Lernkontext (Roesch et al., 2015). Sicher spielen auch eingeschränkte ökologische Kenntnisse eine Rolle. Die Annahme, der ausbleibende Effekt resultiere alleine aus fehlendem Domänenwissen, wird allerdings u. a. dadurch relativiert, dass sich in der Vorstudie lediglich geringe bzw. inferenzstatistisch keine Mittelwertunterschiede zwischen 6. und 9. Klassenstufe zeigten, obwohl das Domänenwissen der 9.-Klässler bezüglich der Itemkontexte laut curricularer Vorgaben mittlerweile größer sein müsste. Bereichsspezifische Kenntnisse sind für ein Verständnis externer Validität vermutlich notwendig, jedoch nicht unbedingt hinreichend. Als weitere, möglicherweise ausschlaggebende Faktoren sind die begrenzte Sensitivität und Validität des Instruments zu diskutieren: So ist zu vermuten, dass kleinere Performanzunterschiede nicht erfasst werden können, die zwischen Klassenstufen bzw. zwischen der Treatmentgruppe EXP und der Kontrollgruppe KG_{Öko} zu erwarten waren (s. Abschn. 3.1.2). In der vorliegenden Testversion bezieht die Formulierung mancher Distraktoren per se sachlogisch korrekte Argumente mit ein, um deren Plausibilität zu erhöhen (s. Abschn. 3.1.1, Abb. 1) – dies könnte die Nutzung des Verständnisses für die Bedeutung von Beobachtungsdauer und Stichprobengröße v. a. bei Versuchspersonen mit gering ausgeprägtem Verständnis verfälschend beeinflussen. Angesichts von Performanzunterschieden zwischen Schularten in diversen Bereichen experimenteller Problemlösefähigkeit (Mayer et al., 2008) lässt sich von den Realschülern unserer Studie nicht automatisch auf andere Lernende generalisieren.

Erwartungskonform positiv wirkte sich hingegen domänenspezifisches systemisches Denken auf das Verständnis für die Bedeutung der Beobachtungsdauer aus. In der untersuchten Stichprobe scheint die durch das Treatment SYS nachweislich geförderte Fähigkeit zum systemischen Denken (Bräutigam, 2014, S. 134 ff.) in größerem Maße zur korrekten Beantwortung mancher Items zu befähigen als das Treatment EXP, in dem die Versuchspersonen exemplarisch einzelne kontextualisierte Beispiele kennengelernt haben, bei denen die Beobachtungsdauer bei der Herstellung bzw. Beurteilung von externer Validität eine Rolle spielt.

5 Pädagogische Schlussfolgerungen und weiterführende Überlegungen

Falls die Befunde in der Treatmentgruppe EXP nicht in erster Linie auf die eingeschränkte Sensitivität des Testinstrument sondern auf einen geringen Kompetenzzuwachs infolge des kognitiven Entwicklungsstands zurückzuführen wären, würde dies die Überlegungen von Meyer (1978) sowie Mayer und Ziemek (2006) unterstützen, den Aufbau unterschiedlich abstrakter experimenteller Kompetenzen innerhalb der Dimensionen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung (ebd.) gestuft und längerfristig anzugehen. Fördermaßnahmen zum Verständnis externer Validität wären vor diesem Hintergrund in höheren Klassen anzusiedeln, zumal die bedeutsame Domäne Ökologie curricular wieder aufgegriffen und vertieft wird, wodurch umfangreicheres Domänenwissen zur Verfügung stehen würde. Angesichts der Tücken von Überfrachtung durch den Lernkontext sollte die extrinsische kognitive Belastung reduziert werden (Kirschner et al., 2006; Roesch et al., 2015). Möglichkeiten, wie ein Spiralcurriculum für die systematische Förderung dieses Grundverständnisses für externe Validität gestaltet werden könnte, werden an anderer Stelle ausgeführt (Rösch, in Vorbereitung).

Angesichts der in diesem Beitrag vorgestellten Befunde sowie der in Abschnitt 2.3 und der nachfolgend erläuterten Erkenntnisse zum computergestützten Erlernen experimenteller Kompetenzen rücken zwei innovative Ansätze als vielversprechender Gegenstand weiterführender biologiedidaktischer Forschung ins Blickfeld: erstens die Förderung systemischen Denkens zur Unterstützung des Verständnisses für die Beobachtungsdauer als Kriterium für externe Validität. Zweitens erscheint der Einbezug computerbasierter interaktiver Simulationen als zielführend. Systemisches Denken kann bereits ohne den Einsatz computerbasierter Simulationen wirkungsvoll gefördert werden (Bräutigam, 2014, S. 134 ff.; Vogel et al., 2011) – dies wirkt sich positiv auf das Verständnis für die Bedeutung von Langzeitbeobachtungen bei ökologischen Experimenten aus (s. Abschn. 3.4). Wenn aber die Kombination solchen Unterrichts mit computergestützten Lernumgebungen das Training systemischen Denkens noch stärker begünstigt (Riess & Mischo, 2010) und computerbasierte Experimentierumgebungen auch die Performanz experimenteller Kompetenzen steigern helfen (Eckhardt, 2010; Urhahne & Harms, 2006), könnte die Konzeption spezieller Simulationen in ökologischen Kontexten wertvolle Synergieeffekte für ein Grundverständnis von Kriterien externer Validität hervorbringen: Nicht nur die Variablenkontrollstrategie und systematische Vorgehensweise beim Experimentieren stünden im Mittelpunkt – in Modellsystemen könnten auch Versuchsreihen mit variierbar vielen Individuen mit unterschiedlichen Merkmalsausprägungen und bei zeitlicher Systemdynamik durchgeführt werden. Im Zeitraffer ließen sich Stichproben- und Langzeiteffekte sowie Vorteile von Mehrfachmessungen, Replikation und längerfristiger Beobachtung in beliebig vielen Durchgängen vor Augen führen. Logfile-Daten könnten dabei für Feedback und Diagnose sowie adaptive, prozessbegleitende Prompts zur Unterstützung der Prozessregulation genutzt werden (ebd.).

6 Ausblick

Die in diesem Beitrag vorgestellten Untersuchungen stellen erste Schritte in einem bislang wenig untersuchten Feld dar. In Anbetracht der empirischen Befunde und konzeptionellen Überlegungen ergeben sich für künftige biologiedidaktische Studien diverse Forschungsdesiderate: Um die Validität, Sensitivität und Homogenität des Messinstruments zu steigern, sollten sich die Antwortoptionen ausschließlich auf die Aspekte *Beobachtungsdauer* bzw. *Stichprobengröße* beziehen und keine anderen sachlogischen Aspekte ansprechen (s. Kap. 4). Mit Blick auf das kontextabhängige Antwortverhalten gilt es, den Item-Pool zu erweitern und in anderen Klassenstufen zu testen. Dabei sollten Zusammenhänge mit kognitiver Entwicklung, die Korrelation der Performanzwerte mit die Itemkontexte betreffendem Domänenwissen sowie die Weite des Transfers zwischen Lern- und Itemkontexten in den Blick genommen werden. Um die dimensionale Struktur und die Konstruktvalidität besser untersuchen zu können, macht es Sinn, das Testinstrument in höheren Klassenstufen zu erproben – dort sind größere interindividuelle Varianz bzw. Homogenität im individuellen Antwortverhalten zu erwarten. Um einen Einblick in den frühestmöglichen Zeitpunkt effektiver Förderung zu erhalten, empfiehlt es sich, die kognitive Belastung der Lernumgebung zu reduzieren, welche in unserer Studie u. a. durch Kontextmerkmale, Maß der Problemorientierung und Offenheitsgrad der Lernaktivitäten beeinflusst wurde.

Ob eine Lernumgebung, die ein Training systemischen Denkens *und* experimenteller Problemlösefähigkeit sowie gegebenenfalls computerbasierte Simulationen kombiniert, positive Synergieeffekte auf das Verständnis für externe Validität bewirkt oder eher zu hoher kognitiver Belastung führt, ist des Weiteren zu untersuchen. Wertvolle Einsichten zur optimalen Förderung entsprechender Kompetenzen könnten Studien liefern, die mit sensitiveren und valideren Erhebungsmethoden arbeiten und Probanden anderer Schularten und höherer Klassenstufen miteinbeziehen.

Dank

Herzlicher Dank gilt Werner Rieß für die Projektinitiative und – wie auch Josef Nerb – für die engagierte Projektbetreuung, Jana C. Gäde für die Mitarbeit bei der statistischen Auswertung, Karin Schermelleh-Engel, Janina Strohmer, Andreas Schulz und Tenko Raykov für hilfreiche Hinweise und Anregungen sowie Anna-Maria Pils für einen wichtigen Impuls zur richtigen Zeit.

Literatur

- Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2013). Wissenschaftliches Denken beim Experimentieren – Kompetenzdiagnose in der Sekundarstufe II. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 11, 7-20. <http://www.bcp.fu-berlin.de/biologie/arbeitsgruppen/didaktik/Erkenntnisweg/2012/Arnold.pdf?1362740309> (22.08.2015).

- Baumann, M., Simon, U., Wonisch, A. & Guttenberger, H. (2013). Computersimulation versus Experiment. Gibt es Unterschiede im Erzeugen nachhaltigen Wissens und in der Attraktivität für die Schüler? *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 66 (5), 305-310.
- Beauducel, A. & Herzberg, P. Y. (2006). On the performance of maximum likelihood versus means and variance adjusted weighted least squares estimation in CFA. *Structural Equation Modeling*, 13 (2), 186-203.
- Birnbaum, A. (1968). Some latent trait models and their use in inferring an examinee's ability. In F. M. Lord, & M. R. Novick (Eds.), *Statistical theories of mental test scores* (pp. 395-479). Reading, MA: Addison-Wesley.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Heidelberg: Springer.
- Bräutigam, J. I. (2014). *Systemisches Denken im Kontext einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. Konstruktion und Validierung eines Messinstruments zur Evaluation einer Unterrichtseinheit* (Dissertation, Pädagogische Hochschule Freiburg). <http://opus.bs-zbw.de/phfr/volltexte/2014/438/pdf/DissertationBraeutigamJulia2014.pdf> (22.08.2015)
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*. München: Pearson Studium.
- Düppers, W. (1975). Wieweit ist der Biologieunterricht experimenteller Unterricht? *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 28 (A), 197-199.
- Eckebrecht, H., Eckebrecht, D. & Kluge, S. (2006). *Experimentesammlung Sekundarstufe I. Natura: Biologie für Gymnasien*. Stuttgart: Klett.
- Eckhardt, M. (2010). *Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen im Fach Biologie* (Dissertation, Universität Kiel). http://eldiss.uni-kiel.de/macau/receive/dissertation_diss_00004981 (22.08.2015).
- Ehmer, M. (2008). *Förderung von kognitiven Fähigkeiten beim Experimentieren im Biologieunterricht der 6. Klasse: eine Untersuchung zur Wirksamkeit von methodischem, epistemologischem und negativem Wissen* (Dissertation, Universität Kiel). http://eldiss.uni-kiel.de/macau/receive/dissertation_diss_00003034 (22.08.2015)
- Emden, M. & Sumfleth, E. (2012). Prozessorientierte Leistungsbewertung. Zur Eignung einer Protokollmethode für die Bewertung von Experimentierprozessen. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 65 (2), 68-75.
- Freytag, K. (2007). *Biologische Kurzversuche*. 2 Bde. Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Hamann, M., Phan, T. T. H., Ehmer, M. & Grimm, T. (2008). Assessing pupils' skills in experimentation. *Journal of Biological Education*, 42 (2), 66-72.
- Kauertz, A., Fischer, H. E., Mayer, J., Sumfleth, E. & Walpuski, M. (2010). Standardbezogene Kompetenzmodellierung in den Naturwissenschaften der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (ZfDN)*, 16, 135-153.
- Keselman, A. (2003). Supporting Inquiry Learning by Promoting Normative Understanding of Multivariable Causality. *Journal of Research in Science Teaching*, 40 (9), 898-921.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41 (2), 75-86.
- Klahr, D. & Nigam, M. (2004). The Equivalence of Learning Paths in Early Science Instruction. Effects of Direct Instruction and Discovery Learning. *Psychological Science*, 15 (10), 661-667.
- KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (Hrsg.). (2005), *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*. München, Neuwied: Wolters Kluwer.
- Leutner, D., Wirth, J., Klieme, E. & Funke, J. (2005). Ansätze zur Operationalisierung und deren Erprobung im Feldtest zu PISA 2000. In E. Klieme, D. Leutner & J. Wirth (Hrsg.), *Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern. Diagnostische Ansätze, theoretische Grundlagen und empirische Befunde der deutschen PISA-2000-Studie* (S. 21-36). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Lienert, G. A. & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse*. Weinheim: Beltz Psychologie-Verlags-Union.

- Mayer, J., Grube, C. & Möller, A. (2008). Kompetenzmodell naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. In U. Harms & A. Sandmann (Hrsg.), *Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBiO, Essen 2007* (S. 63-79). Innsbruck: StudienVerlag.
- Mayer, J. & Ziemek, H.-P. (2006). Offenes Experimentieren. Forschendes Lernen im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie*, 30 (317), 4-12.
- McBride, B. B., Brewer, C. A., Berkowitz, A. R. & Borrie, W. T. (2013). Environmental literacy, ecological literacy, ecoliteracy: What do we mean and how did we get here? *Ecosphere*, 4 (5), art. 67, 1-20. <http://dx.doi.org/10.1890/ES13-00075.1> (22.08.2015)
- Meyer, G. (1978). *Die Bedeutung des Experiments für den modernen Biologieunterricht*. Arbeitshilfe 1.12, hrsgg. von der Landeshauptstadt Hannover, Schulamt / Schulbiologiezentrum.
- Muthén, L. K. & Muthén, B. O. (2010). Mplus User's Guide. 6th ed. Los Angeles, CA, USA: Muthén & Muthén. <http://www.statmodel.com/ug excerpts.shtml> (12.05.2011).
- Prenzel, M., Artelt, C., Baumert, J., Blum, W., Hammann, M., Klieme, E. & Pekrun, R. (Hrsg.). (2007), *PISA 2006. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie. Zusammenfassung*. http://pisa.ipn.uni-kiel.de/zusammenfassung_PISA2006.pdf (26.02.2014).
- Raykov, T., Dimitrov, D., & Asparouhov, T. (2010). Evaluation of Scale Reliability with Binary Measures Using Latent Variable Modeling. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 17 (2), 265-279.
- Riess, W. & Mischo, C. (2010). Promoting Systems Thinking through Biology Lessons. *International Journal of Science Education*, 32 (6), 705-725.
- Rösch, F. (2013). Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit!? Welche Rolle spielen aktuelle Schulbücher und Lehrerhandreichungen? *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 66 (5), 299-305.
- Rösch, F. (in Vorbereitung). *Förderung und Messung experimenteller Problemlösefähigkeit in der Orientierungsstufe. Befunde und Überlegungen unter besonderer Berücksichtigung der Domäne Ökologie und kontextbasierten Lernens* (Arbeitstitel). Online-Dokument.
- Roesch, F., Nerb, J. & Riess, W. (2015). Promoting Experimental Problem-solving Ability in Sixth-grade Students Through Problem-oriented Teaching of Ecology: Findings of an intervention study in a complex domain. *International Journal of Science Education*, 37 (4), 577-598.
- Rösch, F., Rieß, W. & Nerb, J. (2012). Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ im problemorientierten Ökologieunterricht der 6. Klassenstufe? In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 183-198). Münster: Waxmann.
- Schermelleh-Engel, K., Moosbrugger, H. & Müller, H. (2003). Evaluating the Fit of Structural Equation Models: Test of Significance and Descriptive Goodness-of-Fit Measures. *Methods of Psychological Research Online*, 8 (2), 23-74.
- Schneider, W., Bullock, M. & Sodian, B. (1998). Die Entwicklung des Denkens und der Intelligenzunterschiede zwischen Kindern. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Entwicklung im Kindesalter* (S. 53-74). Weinheim: Beltz Psychologie-Verl.-Union.
- Schulz, A., Wirtz, M. & Starauschek, E. (2012). Das Experiment in den Naturwissenschaften. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 15-38). Münster: Waxmann.
- Smith, T. M. & Smith, R. L. (2009). *Ökologie*. München: Pearson Studium.
- Urhahne, D. & Harms, U. (2006). Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen. *Unterrichtswissenschaft*, 34 (4), 358-377.
- Vogel, A., Rieß, W. & Nerb, J. (2011). Systemisches Denken im Umgang mit Natur. Welche subjektiven Theorien entwickeln SchülerInnen im Umgang mit komplexen Systemen? In S. Holzheu (Red.), *Didaktik der Biologie – Standortbestimmung und Perspektiven. Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBiO 12.09. – 16.09.2011* (S. 66-67). Universität Bayreuth.

Kontakt

Frank Rösch

Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, Abteilung Biologie und ihre Didaktik, Reuteallee 46,
D – 71634 Ludwigsburg, roesch@ph-ludwigsburg.de

Anhang

Tabelle 7

Kontexte der in den Items vorgegebenen Experimente (Vorstudie bzw. Hauptstudie)

Experimentkontext und betrachtete Variablen			Ext. Validität		Hauptstudie
System / Organ.	Unabhängige V.	Abhängige V.	BD	ST	(Item-Nr.)
Wildschweine (naturnaher Lebensraum)	Umgebungs-lärm (Nähe von Ver- kehrswegen)	Schlafverhalten	+	-	ST_3
Bach	Stoffeintrag	Artenvielfalt	-	+	n. v.
Wald	Rodung	Mineralsalz- konzentration im Boden	+	+	BD_3
Hirsche (Mesokosmos- experiment)	Wolfsgeheul	Gewichtsver- änderung (als Stressreaktion)	+	-	n. v.
Hauskatzen	Annäherungs- richtung eines Balls	Pfoten- ,Präferenz‘	-	-	BD_4
Flusskrebse im Aquarium	Mikrobielle Pa- thogene (unter manueller Her- ausnahme durch Aufpinseln ein- gebracht)	Verhaltens- änderung	-	+	BD_2, ST_2
Haushühner	Stalltemperatur	Dauer der Be- brütungsphase(n)	-	-	ST_4
Würmer in limnischem Habitat	Menge sich zersetzender Biomasse	Reproduktions- rate	-	+	n. v.
Waldökosystem	Schaffung naturbelassener Freiflächen	Anzahl der Vogelarten	-	-	BD_1, ST_1 (Abb. 1)
Weizen in ‚Bio- sphäre‘ (Experi- ment im Weltall / auf der Erde)	Gravitation vs. Schwereelosigkeit	Keimung und Wachstum (Ge- schwindigkeit)	-	-	n. v.
Bienen (Labor- experiment)	Luftdruck	Flugverhalten	-	+	n. v.
Afrikanische Savanne	Ausbringen von Löwen-Kot entlang von Gleisen	Anzahl der Wildunfälle mit Zügen	+	-	n. v.

Anmerkungen. Organ.: Organismen. Ext. Validität: Beachtung bzw. angemessene Umsetzung von Beobachtungsdauer (BD) bzw. Stichprobengröße (ST) als Kriterien für externe Validität. +: gut beachtet / umgesetzt. -: schlecht beachtet. n. v.: in der Hauptstudie nicht verwendet. BD_i bzw. ST_j: Items für die Kriterien Beobachtungsdauer bzw. Stichprobengröße.

9.3 Einzelbeitrag mit konzeptionellen Überlegungen: Rösch (2012)

G 20 349

Sache Wort Zahl

Lehren und Lernen in der Grundschule

124

Heft Nr. 124/40. Jahrgang
März 2012

Experimentieren



av
AulisVerlag

Inhalt

Experimentieren

<p>Herausgeber: Prof. Dr. Marcus Schrenk</p> <p>Schriftleiterin: Silke Braun, Nagold</p> <p>Herausgeber: Prof. Dr. Michael Gebauer, Halle Prof. Dr. Joachim Kahlert, München Prof. Dr. Kurt Meiers, Immenstadt Prof. Dr. Regina Dorothea Möller, Landau Prof. Dr. Marcus Schrenk, Heidelberg</p> <p>Hinweis: Kurzfassungen der Beiträge finden sich im Internet unter www.aulis.de</p>	<p>Naturwissenschaftliche Erkenntismethoden in der Grundschule Marcus Schrenk 4</p> <p>Experimente: Regeln und Protokolle Petra Sauerborn 8</p> <p>„Forschen wir heute wieder?!“ Ein Unterrichtsvorschlag für die Klassenstufen 3 und 4 zur Förderung des Wissenschaftsverständnisses anhand von Experimenten Frank Rösch 12</p> <p>„Die könnten doch auch UHU-Zahlen heißen!“ Zahlenmuster experimentell erkunden Kathleen Philipp 27</p> <p>Förderung der Kompetenzen des Experimentierens – Exemplarische Lernaufgaben zum Phänomen Totes Meer – Salzgehalt des Wassers Carina Peter und Sandra Hof 36</p> <p>Willkommen im Pflanzenlabor! Grundschulkindern erforschen elementare Vorgänge unserer Umwelt Anja Vocilka 44</p>	<p>Klassen 1–4</p> <p>Klassen 1–4 2 Materialien</p> <p>Klassen 3/4 6 Materialien</p> <p>Klassen 3/4 1 Material</p> <p>Klasse 4 5 Materialien</p> <p>Klassen 1–4 3 Materialien</p>
---	---	--

Serie

<p>Lesekompetent werden – Ein langer und vieldimensionaler Prozess – Teil 3: 5. Begriffliche Präzisierung; 6. Operationen grammatisch-syntaktischer Art Kurt Meiers 49</p>	<p>Klassen 1–4 7 Materialien</p>
---	---

Magazin

<p>Der aktuelle Tipp 58 Rezensionen 59 Impressum 62</p> <p>SWZ-Grundschulkalender April und Mai 31</p>
--

Titelgestaltung: Schmid, Wilhelm
Foto: Il-Reda – Fotolia



Sache – Wort – Zahl
erscheint im Aulis Verlag

Z240022

Aulis ein Imprint der Stark Verlag GmbH, Hallbergmoos

Nutzung des Beitrags in diesem Rahmen mit freundlicher Genehmigung des Verlags

„Forschen wir heute wieder?!“

Ein Unterrichtsvorschlag für die Klassenstufen 3 und 4 zur Förderung des Wissenschaftsverständnisses anhand von Experimenten

Frank Rösch

Wie kommen Naturwissenschaftler zu ihrem Wissen? Welche Rolle spielen dabei Experimente? Experimentieren – wie geht das? Was ist, wenn beim Experimentieren nicht das zu beobachten ist, was eigentlich herauskommen „müsste“?



Abb. 1: Experimente mit dem Pendel

dealerweise werden Experimente im Sachunterricht nicht zweckfrei oder zum reinen Zeitvertreib durchgeführt: Sie sind hervorragendes Lernmittel und -gegenstand, um gezielt Beiträge zu naturwissenschaftlicher Grundbildung zu leisten im Hinblick auf ...

- den Erwerb von naturwissenschaftlichen Sachkenntnissen,
- ein angemessenes Verständnis bezüglich der Eigenschaften von Naturwissenschaften,
- die Kenntnis einer bedeutsamen naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsmethode sowie auf
- positive Auswirkungen auf Einstellungen und Emotionen gegenüber den Naturwissenschaften (vgl. Hammann 2006, S. 131).

Schließlich besteht ein zentrales Anliegen von Sachunterricht darin, Kinder bei der Orientierung in ihrer All-

tagswelt zu unterstützen: Dies gelingt u. a. durch die aktive, eigenständige Aneignung, Anwendung und kritische Prüfung naturwissenschaftlichen Wissens. Sachunterricht soll darüber hinaus dazu anregen, unsere Welt verantwortungs- und selbstbewusst mitzugestalten sowie an der Lösung von Problemen mitzuwirken (vgl. Grygier 2008, S. 31 f.). Naturwissenschaftliche Grundbildung umfasst in diesem Sinn nicht allein den Aufbau von Sachwissen. Die Lernenden sollen darin unterstützt werden, selbstständig Erkenntnisse zu gewinnen. Hierzu gehört in besonderem Maß das Experimentieren. Es handelt sich dabei um eine höchst anspruchsvolle naturwissenschaftliche Methode zur Untersuchung von Ursache-Wirkungszusammenhängen, die als Problemlöseprozess aufgefasst werden kann. Das Experimentieren vereint sowohl Denk- als auch Arbeitsweisen und erfordert ein angemessenes Verständnis von Naturwissenschaften. Dieser Beitrag stellt Unterrichtsideen vor, wie anhand ex-

perimenteller Aktivitäten Lernen über Naturwissenschaften angeregt werden kann (s. Kasten 1).

Welche Bedeutung hat Naturwissenschaftsverständnis?

Wissenschaftliche Studien haben gezeigt, dass das Verständnis der Eigenschaften der Naturwissenschaften sehr eng mit wissenschaftsmethodischen Kompetenzen zusammenhängt (vgl. Kremer et al. 2008, S. 39). Angemessene Vorstellungen zum Zweck und Ablauf sowie zur Logik des Experiments begünstigen erfolgreiches Experimentieren (vgl. Schauble et al. 1991). Die Förderung des Wissenschaftsverständnisses scheint sich auch positiv auf den Erwerb von Sachkenntnissen auszuwirken (vgl. Grygier et al. 2008, S. 75, 143 f.; s. Abb. 2 sowie Kasten 1).

Schülervorstellungen als Ausgangspunkt von Lernprozessen

Empirische Untersuchungen zeigen, dass nicht nur Grundschul Kinder (vgl. Grygier 2008, S. 141), sondern

Es handelt sich nicht um naturkundliche Sachkenntnisse, sondern um Wissen über die Naturwissenschaften, also um ein angemessenes Verständnis von deren Eigenschaften:

- Was können bzw. wollen Naturwissenschaften leisten?
- Wie wird naturwissenschaftliches Wissen gewonnen?
- Welche Merkmale zeichnen dieses Wissen aus?

Hierzu zählen etwa Herkunft, Sicherheit und Entwicklung naturwissenschaftlichen Wissens, die Gebundenheit der Naturwissenschaften in den Kanon der Wissenschaften sowie soziokulturelle Bezüge und Bedeutung für Politik und Wirtschaft (vgl. Kremer et al. 2008).

Kasten 1: Was ist Naturwissenschaftsverständnis?

auch noch Lernende der Sekundarstufe unwissenschaftliche, z.T. recht naive Konzepte von Naturwissenschaften besitzen (vgl. Grygier 2008, S. 47 ff.; Schauble et al. 1991, S. 859 f.). Hierzu gehören u. a. Fehlvorstellungen zu Forschungsgegenstand und -methodik, zum Wesen naturwissenschaftlicher Kenntnisse und zu Wechselwirkungen mit Kultur und anderen Wissenschaften (vgl. Rieck/Stadler 2008, S. 216). Ein fehlerhaftes Verständnis – z. B. bezüglich Zweck und Ziel des Experimentierens – begünstigt eine unsystematische und fehlerhafte Vorgehensweise beim Experimentieren (vgl. Schauble et al. 1991, S. 860 ff.). Beispielsweise berücksichtigen Kinder keine Kontrollansätze, wenn ihrer Ansicht nach Experimente nur zur Produktion spektakulärer Phänomene dienen. Begreift man Lernen als aktive, subjektive (Re-)Konstruktion von Wissen, Handlungsabläufen und Fähigkeiten (vgl. Krüger 2007, S. 81 ff.), so wird deutlich, dass an vorunterrichtliche Fehlvorstellungen nicht nur angeknüpft werden muss, sondern Lernumgebungen auch eine zielgerichtete Weiterentwicklung von Vorstellungen ermöglichen sollten. Leistungsunterschiede innerhalb von Lerngruppen sowie die Vielzahl von subjektiven Konzepten erfordern einen Sachunterricht mit Bindendifferenzierung und die Bereitstellung vielfältiger unmittelbarer Erfahrungsmöglichkeiten.

Experimente und Naturwissenschaftsverständnis

Experimente helfen im forschend-entwickelnden Unterricht, Naturwissenschaftsverständnis weiterzuentwickeln, indem die Lernenden u. a. ...

- Fragen stellen,
- Phänomene gezielt und systematisch beobachten,
- nach Erklärungen für kausale Abhängigkeiten zwischen Größen suchen,
- ein-greifend ihre Vermutungen überprüfen,

- Methoden und Strategien anwenden, die aussagekräftige Experimente voraussetzen,
- sich einfache Apparaturen und Abläufe zur systematischen Naturwahrnehmung ausdenken,
- bei Widersprüchen zwischen Vorhersagen und tatsächlichen Beobachtungen ihre Vorstellungen hinterfragen,
- ihre Vorgehensweise dokumentieren.

Nicht zu vergessen: Erfahrungen mit Organismen und faszinierenden Naturphänomenen, Kompetenzerleben im Rahmen eigenständigen forschenden Lernens und die soziale Eingebundenheit beim Zusammenarbeiten können sowohl das Selbstbewusstsein als auch die Lernmotivation und das längerfristige Interesse an Naturwissenschaften steigern.

Förderung ist bereits in der Grundschule möglich!

Ist es nicht zu früh, Grundschüler mit der Natur der Naturwissenschaften und der komplexen experimentellen Methode zu konfrontieren? Dass eine Förderung entsprechender Kompetenzen nicht erst in der Sekundarstufe, sondern bereits in der Primarstufe möglich ist und die Kinder erforderliche kognitive Entwicklungsschritte durchlaufen (haben), zeigt eine Vielzahl von Studien (vgl. Grygier et al. 2008, S. 78). Eine wichtige Erkenntnis in diesem Zusammenhang: Ein angemessenes Wissenschafts- und Methodenverständnis wird nicht durch bloßes entdeckendes Lernen erreicht. In Verbindung mit forschendem Lernen, bei dem die Kinder Methoden und Strategien korrekt und reflektiert anwenden, trägt v. a. die bewusste Auseinandersetzung mit den Besonderheiten naturwissenschaftlicher Forschung zur Entwicklung des Verständnisses und experimenteller Kompetenzen bei (vgl. Grygier 2008, S. 150 ff.; Kremer et al. 2008, S. 40). Gelenktes Entdecken,

Unterstützung durch Hilfestellungen oder Strukturen und aufbereitete Medien begünstigen den Kompetenzaufbau in besonderem Maße und beeinträchtigen keineswegs Transferleistungen (vgl. Klahr/Nigam 2004, S. 666), wie oftmals befürchtet wurde.

Somit ist es aus fachdidaktischer Sicht nicht nur wünschenswert, sondern auch sinnvoll, ein Verständnis für die Logik des hypothetisch-deduktiven Verfahrens anzubahnen und die Kinder anschaulich die Merkmale von Experimenten im Dienst der Theorieprüfung und -entstehung

Zweifel, Fragen und Kreativität sind notwendig, um Naturwissenschaften weiterzuentwickeln.

erfahren zu lassen. Dabei kann das Selbstbewusstsein gestärkt werden: Zweifel, Fragen und Kreativität sind notwendig und erwünscht, um Wissen zu erwerben, zu überprüfen und Naturwissenschaften weiterzuentwickeln. Jede und jeder Einzelne kann hier wertvolle Beiträge leisten.

Im Hinblick auf verknüpfendes Lernen gilt es, entsprechende Lernangebote bereits vor dem Übertritt in weiterführende Schulen zu schaffen. Der vorliegende Vorschlag möchte hierzu Ideen skizzieren, wie die folgenden Aspekte thematisiert und zur Kompetenzförderung eingesetzt werden können:

- Sicherheit naturwissenschaftlichen Wissens,
- Datenanalyse und -interpretation,
- die experimentelle Methode naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung,
- aus Theorien abgeleitete Hypothesen und deren kritische Prüfung anhand von Beobachtungen und Messungen,
- Kreativität in den Naturwissenschaften.

Diese Aspekte gehören zu den zentralen unterrichtsrelevanten Gesichtspunkten des Wissenschaftsverständnisses (vgl. Grygier 2008, S. 36 f.).



Unterrichtsidee: Die Arbeit von Forschern kennenlernen

Häufig wird im Sachunterricht „nach Rezept“ experimentiert, d.h. nach ausführlicher Anleitung. Nicht selten handelt es sich dabei noch nicht einmal um echte Experimente, sondern um bloße Versuche ohne Kontrollansatz und Hypothesenprüfung. Es überrascht daher kaum, wenn die Fehlvorstellung, Naturwissenschaften würden unveränderliches Wissen als exaktes Abbild der Wirklichkeit einfach sammeln und strukturieren, z.T. sogar durch den Sachunterricht genährt wird. Es besteht die Gefahr, dass die Schüler ein sehr verkürztes Verständnis von Experimenten entwickeln. So z. B., dass Experimente nur dazu da wären, verblüffende Effekte hervorzurufen oder in den Naturwissenschaften lediglich zum Beweisen von existierendem Wissen über Kausalbeziehungen dienen würden (vgl. Rieck/Stadler 2008, S. 215). Stattdessen sollte ein angemessen(er)es Wissenschaftsverständnis gefördert werden, indem die Kinder die Pro-

„Echte“ Experimente haben einen Kontrollansatz und überprüfen Hypothesen.

zesshaftigkeit naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung erleben: Nicht nur durch Beobachtungen und Daten, die den Annahmen entsprechen, sondern auch durch den Umgang mit Ergebnissen, welche die Erwartungen widerlegen. Hierbei gibt guter Sachunterricht Impulse, über wissenschaftstheoretische und -methodische Aspekte nachzudenken. Die Lernenden erfahren, dass naturwissenschaftliches Wissen immer nur vorläufig, also veränderbar ist, und sich Erkenntnisgewinnung in einem Wechselspiel aus Theorie und sinnlicher Erfahrung abspielt.

Wie kann die Umstrukturierung und Weiterentwicklung unangemessener Vorstellungen unterstützt wer-

den? Es hat sich bewährt, verschiedene Phasen des Unterrichts so zu gestalten, dass Lernende ganz bewusst über ihr Wissenschafts- und Methodenverständnis nachdenken und dies anhand von Erfahrungen modifizieren können (vgl. Krüger 2007, S. 83 ff.): Kognitive Konflikte durch verblüffende Einstiege regen an, Vorwissen in Frage zu stellen – ein erster Schritt zur Weiterentwicklung von Konzepten. Unzufriedenheit mit bewährten Vorstellungen allein genügt jedoch nicht: Lernumgebungen müssen darüber hinaus Erlebnisse ermöglichen, in denen Kinder anschaulich neue Denk- und Handlungsweisen kennenlernen und *be-greifen*. Darüber hinaus sollte augenscheinlich werden, welche Vorteile, welchen Nutzen die alternativen Konzepte gegenüber den bereits existierenden besitzen. Besonders förderlich für den Lernprozess sind Gelegenheiten, die neuen Konzepte, Strategien und Methoden fruchtbar anzuwenden, auf neue Situationen zu übertragen sowie zu entdecken, wo Anknüpfungspunkte zu bestehenden Kenntnissen auftauchen.

Die folgenden Vorschläge wurden im Rahmen einer Interventionsstudie zur Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ für Realschüler der Klassenstufen 5 und 6 entwickelt (vgl. Rösch et al. 2012). Für den Einsatz in der Grundschule erfolgte eine Überarbeitung und Ergänzung – in erster Linie für die Klassenstufe 3 bzw. 4, wo eine Förderung nachweislich möglich ist (s. o.). Für die Umsetzung der Unterrichtsidee sind mehrere Stunden nötig. Im Verlauf der Lerneinheit werden Unterstützungs- und Strukturierungsmaßnahmen zurückgenommen; gleichzeitig gibt es mehr Phasen eigenständigen Arbeitens beim Experimentieren.

1. Phase: „Faires Testen“ – zur Logik des Experiments

Viele Kinder haben (noch) kein ausgeprägtes Bewusstsein, dass es einer

experimentellen Kontrolle bedarf, um Kausalbeziehungen zwischen Größen zu untersuchen (vgl. Hammann et al 2006, S. 292 f.): Auch wenn sie dieses Wissen z.T. prinzipiell besitzen, wird es bei der Planung und Durchführung eigener Experimente selten angewandt (vgl. Grygier 2008, S. 136). In einem ersten Unterrichtsschritt sollen daher die Notwendigkeit und der Sinn von Kontrollansätzen verdeutlicht und die Logik der Variablenkontrollstrategie aufgezeigt werden. Im englischsprachigen Raum existiert hierfür die Bezeichnung „*fair testing*“ – eine schon für Grundschulkindern anschauliche Umschreibung der Strategie, die aussagekräftige Experimente erst ermöglicht.

Aus didaktischer Perspektive ist es sinnvoll, eine Situation vorzugeben, in der „unsicheres“ Wissen thematisiert wird: Auf diese Weise können die Kinder erkennen, dass Vermutungen zu Ursache-Wirkungszusammenhängen prinzipiell überprüft werden müssen. Material 1 greift eine Alltagserfahrung der Kinder auf: Eine Struktur oder ein Ablauf soll durch Veränderung von Bestandteilen und Funktionen verbessert werden; das kennen viele Lernende vom eigenen Basteln oder von Tüfteleien. In Material 1 unterhalten sich zwei Wissenschaftler über die Wirksamkeit eines Speziallacks zur Herabsetzung des Wasserwiderstands von Booten:

- Im ersten Bild wird die Situation eingeführt und ein Impuls gesetzt: Für Schlussfolgerungen aus „Experimenten“ zu Ursache-Wirkungsbeziehungen sind stets Vergleiche notwendig.
- Bild 2 thematisiert den Kontrollansatz, bei dem der als Ursache vermutete Parameter verändert wurde – im Beispiel, dass die Geschwindigkeit des Schiffs einmal ohne und einmal mit Anstrich untersucht wurde.
- In Bild 3 werden die Lernenden mit der Skepsis einer Wissenschaftlerin konfrontiert. Die Abbildung zeigt deutlich, dass anscheinend



Abb. 2: Modellexperiment: Beeinflusst Wald tatsächlich die Winderosion?

ein starker Wind weht. Da die Testung des Modellschiffes im Freien erfolgte und man nichts über die Verhältnisse des Kontrollansatzes erfährt, provoziert dies die Frage und Forderung nach der Variablenkontrolle: Sind die Ansätze tatsächlich vergleichbar, stellt der Lack die einzige veränderte Variable dar?

Die Lehrperson vergrößert im Vorfeld den Comic auf Overheadfolie. Die Bildfolge kann als stummer Impuls eingesetzt werden, wobei den Lernenden Zeit gegeben werden sollte, sich in Sitzgruppen auszutauschen. Denkbar ist, Bild für Bild mit Pausen zu zeigen – in leistungsstarken Lerngruppen kann dabei „vorausgedacht“ werden, was wohl als Nächstes folgt. Im Plenum werden die Gedanken und Einwände gegenüber der Vorgehensweise des abgebildeten Wissenschaftlers zusammengebracht. Dabei kommt zur Sprache, wozu ein Kontrollansatz nötig ist. Die Kinder überlegen sich später mögliche Störgrößen und machen sich Gedanken zum Untersuchungsdesign. Hierbei ist es wichtig, die Regelmäßigkeit bei der Variation von Parametern in Experimenten zu klären, die als Einfluss-

größen in Frage kommen: In Kleingruppen halten die Schüler auf der Vorlage (Material 1) fest, welcher Parameter als einziger zu verändern ist sowie, welche Effektgröße beobachtet und gemessen, welche Parameter gleich gehalten und welche Störgrößen beachtet werden sollten. Bei dieser Überlegung wird deutlich, dass außer der Oberfläche des Schiffsrumpfes alle weiteren Größen bestmöglich zu kontrollieren sind. Dazu gehören z. B. Form und Materialien des Bootes, Windstärke; als Störgröße kommen u. a. unterschiedliche Strömungsverhältnisse im See in Frage. Insofern könnte in der Lerngruppe thematisiert werden, dass die Variablenkontrolle in diesem Fall besonders gut im „Labor“ realisiert werden kann.

2. Phase: Wie kann experimentelle Forschung ablaufen?

Beim nächsten Schritt steht die Unterscheidung zwischen Vermutung und tatsächlicher Beobachtung bzw. Messung im Mittelpunkt: Wie können Wissenschaftler herausfinden, wie sicher ihre Annahmen sind?

In Material 1 wird durch den Kontext, der eine technische Neuerung im großen Maßstab thematisiert, an-

gedeutet, dass eine experimentelle Hypothesen-Prüfung nicht nur vor dem erkenntnistheoretischen Hintergrund notwendig ist, sondern z. B. aus ökonomischen Gründen sehr sinnvoll sein kann. Die Kinder setzen sich nun mit der (genauer gesagt: mit einer möglichen) Vorgehensweise von Wissenschaftlern auseinander.

Material 2 schildert eine konkrete Situation: Wissenschaftler sollen untersuchen, ob das Wachstum von Bohnenpflanzen mit der Menge von Regenwurm Kot zusammenhängt. Die Lernenden lesen den Bericht und ordnen vorgegebene experimentelle Schritte bzw. Phasen den Textpassagen zu. Die Kinder können dabei die Logik und Phasen von Experimenten am konkreten Beispiel nachvollziehen.

Die Materialien 3 a und 3 b können für die Vertiefung von Material 2 herangezogen werden, sind für den weiteren Verlauf jedoch nicht zwingend erforderlich. Sie bieten sich für eine auf die Lerngruppe abgestimmte Vorgehensweise an: Möglich ist sowohl eine Bearbeitung in Teams und im Plenum. Entsprechend wäre in leistungsheterogenen Lerngruppen eine Binnendifferenzierung denkbar: Je nachdem können die Abbildungen und Stichwörter als Ausschneide- (Material 3 a) oder auf Karten mit vergrößerten Kopien bereitgestellt werden. In der gewünschten Sozialform wird der modellhafte Kreislauf experimenteller Erkenntnisgewinnung in die richtige Reihenfolge gebracht. Bei besonders leistungsstarken Gruppen könnte man sogar Stichwörter und Abbildungen voneinander trennen und in einer vorausgehenden Phase paarweise zuordnen lassen. In der Besprechung reflektieren die Lernenden auch die Logik des Prozesses, den Sinn von Annahme bzw. Ablehnung der Vermutung aufgrund der empirischen Befunde im Rahmen eines Vergleichs von Vorhersage und Beobachtung. Im Anschluss oder nach der 3. Phase (s. u.) kann die Fertigstel-

lung von Material 3b erfolgen. Für das Beispiel von Material 1 könnte formuliert werden, welche konkrete Vermutung der Wissenschaftler hatte und welche Vorhersage er daraus ableiten würde. Denkbar ist, das Fach Deutsch einzubeziehen und – wie in Material 2 vorgegeben – eine Art Bericht für Material 1 zu verfassen. Natürlich könnten dabei nicht die Ergebnisse oder deren Deutung angesprochen werden.

Lösungen zu Material 3: Eine Selbstkontrolle ist anhand eines von der Lehrkraft vorbereiteten Musterexemplars möglich. Die korrekte Reihenfolge der Schritte lautet:

(1.) etwas Interessantes beobachten, (2.) Frage stellen, (3.) (neue) Vermutung überlegen, (4.) überprüfbare Vorhersage machen, (5.) Untersuchung planen, (6.) Untersuchung durchführen, (7.) genau beobachten und messen, (8.) Vorhersage mit Beobachtung vergleichen, (9.) und (10.) Vermutung beibehalten bzw. Vermutung ablehnen.

3. Phase: Erkenntnisse auch durch Ent-Täuschung!

Häufig ist bei Kindern zu beobachten, dass ihnen der Umgang mit experimentell gewonnenen Daten schwer fällt, die den eigenen Überzeugungen widersprechen (vgl. Hammann et al. 2006, S. 297). Wie lässt sich nun ein Konzeptwechsel erleichtern, damit auch unerwartete Ergebnisse bei der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung Sinn ergeben? – Streng genommen wird die Widerlegung (Falsifikation) einer Hypothese als einziger Weg zu (relativ) verlässlichem Wissen aufgefasst. Es gilt nun, die Überzeugung der Kinder zu erschüttern, naturwissenschaftliches Wissen sei unveränderlich. Um einen kognitiven Konflikt herbeizuführen, wird für den nachfolgenden Schritt ein kontraintuitives Experiment (vgl. Haider/Harteringer 2010, S. 4) ausgewählt. Hierbei können die Lernenden anschaulich erfahren, dass Vorstellungen über Kausalzusammenhänge unter Umständen verändert werden müssen.

Als Phänomen dient die Frequenz der Pendelschwingung (vgl. Kasten 2). Der Vorteil dieses Mediums: Es ist auf eine überschaubare Anzahl relativ gut untersuchbarer Variablen eingrenzbar.

Didaktische Kniffe bei der Erforschung des Pendel-Phänomens

Nach den in Kasten 2 beschriebenen Schritten sollte im Plenum abgefragt werden, wie beliebt die einzelnen Einflussgrößen als vermutete Ursache sind. Im didaktischen Idealfall favorisieren die meisten Kinder die Masse bzw. Größe des Wägestücks. Auf jeden Fall kann davon ausgegangen werden, dass dies eine der Vermutungen darstellt. Die Lehrperson sollte diesen Parameter unbedingt als erste Testgröße festlegen – aus zweierlei Gründen:

- Zum einen kann die entsprechende experimentelle Hypothesenprüfung exemplarisch leicht durch einige Kinder als Demonstration durchgeführt werden (s. Abb. 1). Dabei werden Kontrollansatz und Variablenkontrollstrategie berücksichtigt; die anderen Lernenden können ergänzen und berichtigen. Zur Kontrolle der Auslenkung des Pendels kann eine einfache große Winkelscheibe dienen (s. Abb. 3). Diese wird mit Klebstreifen am Stativstab befestigt. Somit kann gewährleistet werden, dass das Pendel zu Beginn in den Vergleichsansätzen im gleichen Winkel ausgelenkt wird. Es empfiehlt sich, die Dauer einer größeren Zahl von Schwingungen (z. B. von zehn) mit einer Stoppuhr zu ermitteln; ansonsten würde die Messung recht ungenau und die Werte wären schlecht vergleichbar.
- Zum anderen – und hier liegt das entscheidende Moment – wird den Kindern vor Augen geführt, dass tatsächliche Beobachtung bzw. Messung und theoretische Vorhersage nicht identisch sein müssen.

Es wird deutlich, wie sinnvoll es ist, die Suche nach potenziellen Ursachen für eine Wirkung nicht zu früh einzu-

*Die Lehrperson präsentiert als Black-Box einen großen Karton mit kleinem Schau-
fenster, welches sich auf der Seite des Kartons befindet, die den Lernenden zugewandt
ist (s. Abb. 3) und zu Beginn von einem Blatt Papier verdeckt wird. Die Abdeckung des
Sichtfensters wird erst entfernt, wenn das Pendel bereits schwingt.*

1. Im ersten Schritt wird ein langsam schwingendes Pendel vorgeführt (Wägestück in untere Aufhängeschlaufe [1], langer Fadenabschnitt). Sichtbar ist dabei ausschließlich die Bewegung des Fadens, also weder das Wägestück noch die Gesamtlänge des Fadens. Die Kinder sollen ihre Beobachtung beschreiben.
2. Das Sichtfenster wird anschließend wieder verdeckt.
3. Nach einer raschen Umbauphase (Wägestück in obere Aufhängeschlaufe [2], kurzer Fadenabschnitt) können die Lernenden den Faden eines nun schneller schwingenden Pendels beobachten. Die Lerngruppe wird angehalten, die aktuelle Beobachtung mit der vorherigen zu vergleichen und naturwissenschaftliche Fragen zu formulieren. Die auf einen Kausalzusammenhang zwischen Frequenz und einer Einflussgröße abzielenden Fragen sind Ausgangspunkt, den bereits bekannten (zyklischen) Erkenntnisgewinnungsprozess zu durchlaufen (vgl. M2 bzw. M3b). Entweder in Kleingruppen oder im Plenum werden Vermutungen zu Einflussgrößen gesammelt (z. B. Masse des Pendels, manuelles Beschleunigen, Auslenkung zu Beginn, Länge des Fadens) und auf Zetteln stichwortartig festgehalten.
4. Nachdem das Schaufenster wieder verdeckt worden ist, entfernt und versteckt die Lehrperson zügig den mit zwei Aufhängeschlaufen präparierten Faden.
5. Nun werden der Lerngruppe die zur Untersuchung der Fragen benötigten Materialien präsentiert: Stativmaterial, verschieden schwere Wägestücke, verschieden lange Fäden, falls eine entsprechende Vermutung geäußert wurde.

Kasten 2: Das Pendel-Phänomen

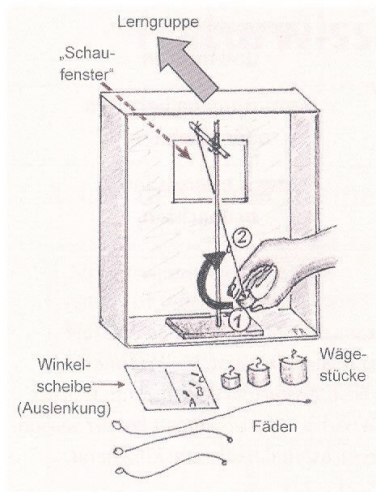


Abb. 3: Verborgenes Innenleben der Pendel-black-Box (aus Sicht der Lehrkraft)

engen: Offensichtlich besteht keine Ursache-Wirkung-Beziehung zwischen Masse und Frequenz (abgesehen von kleinen Reibungseffekten). Im Folgenden können andere Vermutungen überprüft werden. Schwierig gestaltet sich allerdings z. B. die manuelle Beschleunigung des Pendels, da sie mit dem Auslenkungswinkel zusammenhängt. Aus diesem Grund sollte hier die weitere Vorgehensweise von der Lehrperson gelenkt und als Zweites die Fadenlänge festgelegt werden. So folgt das kontrastierende Beispiel unmittelbar und die Widerlegung (Falsifikation) bzw. die Bestätigung (Verifikation) von Hypothesen stehen zeitlich enger beieinander, was sicher eindrücklicher ist und sich schon insofern empfiehlt.

Im Schema (Material 3b) weist vom letzten Kasten ein Pfeil zum Feld Vermutung. Den Lernenden soll bewusst werden, dass Forschen ein immerwährendes Suchen nach besseren Erklärungen ist – hierfür müssen jedoch immer präzisere Fragen und konkretere Hypothesen formuliert werden. Unter Umständen müssen – wie im Beispiel der Pendelmasse – bisherige Hypothesen zugunsten von neuen verworfen werden.

Der Vollständigkeit halber muss noch festgestellt werden: In der realen Wissenschaft ist es mit einem einzel-

nen Experiment nicht getan: Befunde müssen in einer Vielzahl von Experimenten wiederholt und Hypothesen auch in abgewandelten Situationen verifiziert werden, um sie als bewährt anzunehmen. Letztendlich gilt: Naturwissenschaftliches Wissen ist niemals absolut, also unantastbar. Theorien bleiben relativ, „Wahrheit“ lässt sich nur mit Wahrscheinlichkeitsaussagen, also probabilistisch, fassen. Positiv formulierte Hypothesen können durch systematische Beobachtungen und experimentell gewonnene Daten gestützt, jedoch nie zweifelsfrei bewiesen werden.

4. Phase: Ideen für eigenes Forschen!

Den Lernenden sollten im Anschluss, wie bereits erwähnt, vielfältige Gelegenheiten gegeben werden, selbst als Forscher aktiv zu werden, um das angemessene Konzept des Experimentierens fruchtbar anzuwenden und auf neue Problemstellungen und Kontexte zu übertragen. Einige Beispiele finden sich auf Material 5a und 5b. Je nach Leistungsvermögen der Lerngruppe besteht die Notwendigkeit für binnendifferenzierende Maßnahmen. Sie können z. B. in Form von Karten mit gestuften Hilfen (vgl. Stäudel/Mogge 2008) oder durch das Maß an Vorgaben für den Problemlöseprozess realisiert werden. Während Material 5a eher einfache, rasch umzusetzende Experimente anspricht, handelt es sich bei den Ideen von Material 5b um anspruchsvollere Impulse, die z. T. Langzeitexperimente darstellen. Eine wichtige Aufgabe der Lehrkraft ist es einzuschätzen, wie offen sie die Lernumgebung gestalten kann bzw. sollte: Sie kann eine Auswahl von Ideen für Experimente vorgeben oder Vorschläge der Kinder hinsichtlich der Realisierbarkeit beurteilen und gegebenenfalls zulassen bzw. Hinweise hierzu geben.

Ein Vorschlag zum Protokollieren der Schülerexperimente findet sich in Material 6. Er orientiert sich am Schema von Material 2 bzw. Mate-

rial 3b. Als Hilfestellung können Impulsfragen (vgl. Material 4) dienen.

Fundgruben für unterrichtliche Anregungen

Anregungen für kindgerechte Experimente finden sich seit einigen Jahren in zahlreichen Publikationen (z. B. Grygier/Harteringer 2009, Haider/Harteringer 2010, Kahlert/Demuth 2007/2008, Schrenk/Gebauer in Vorb., Schneider et al. 2008, Stäudel et al. 2006). Manche Veröffentlichungen sind zwar bereits für die vorschulische Frühförderung oder erst für die Unterstufe der weiterführenden Schulen konzipiert – trotzdem sind sie regelrechte Fundgruben für Ideen: Viele Impulse lassen sich auch für Grundschulklassen adaptieren. Oft ist es möglich, Versuche oder Untersuchungen als Anregungen für echte Experimente heranzuziehen. Für besonders leistungsstarke Lernende könnte die Aufgabenstellung, sich weitere Experimente zur Untermauerung bzw. Widerlegung einer experimentell gewonnenen Theorie zu überlegen, eine zusätzliche Motivation darstellen.

Fruchtbar ist überdies, zu bekannten Phänomenen oder Apparaturen weitere Fragen zu formulieren und experimentell nach Antworten zu suchen. In Verbindung mit bestimmten Sachunterrichtsthemen bieten sich viele Gelegenheiten zum Experimentieren an – z. B. zur Aktivität von Hefe, zum Thema Schwimmen und Sinken und anderen mechanischen Aspekten oder zur Frage „Sind Pflanzen Lebewesen?“ sowie zur Samenkeimung bzw. zum Pflanzenwachstum. Nehmen Teams verschiedene Forschungsprojekte in Angriff, so bieten Feste und Klassenpflegschaftstermine eine gute Gelegenheit, die Ergebnisse bzw. die Experimente live vor Publikum zu präsentieren.

Grenzen und Chancen des Sachunterrichts

Im Sachunterricht ist es nur bedingt möglich, dass die Kinder altersgerechte und gleichzeitig wissenschaft-

überprüfbare Vorhersage machen	Untersuchung planen	genau beobachten und messen
Frage stellen	Vorhersage mit Beobachtung vergleichen	Vermutung beibehalten oder ablehnen
Untersuchung durchführen	Vermutung überlegen	etwas Interessantes beobachten

Kasten 3: Zu M2: Dünger vom Regenwurm, Aufgabe 3

lich adäquate Erklärungen für Kausalbeziehungen aller betrachteten Phänomene erhalten. Auch entziehen sich viele komplexe Ursache-Wirkung-Zusammenhänge der einfachen experimentellen Untersuchung. Daher ist es ratsam, ein Repertoire an lohnenden Vorschlägen zu unterbreiten. Dann könnten Vermutungen zu Ursache-Wirkung-Zusammenhängen zumindest formuliert und anhand von Experimenten überprüft werden. Wie dieser Beitrag aufzeigt, ist es wichtig, dass Sachunterricht nicht nur Gelegenheit gibt, auf und zum Teil „hinter die Phänomene“ zu blicken, sondern auch „hinter die Naturwissenschaften“ zu spähen (vgl. Grygier 2008, S. 149). Und: Es bereitet Kindern sichtlich Freude, Experimente auszutüfteln und dabei zu prüfen, ob sie eine Vermutung annehmen können oder ablehnen müssen. Besonders motivierend ist es, Antworten auf selbst gestellte „gezielte Fragen an die Natur“ zu finden, wie Experimente oft umschrieben werden. ■

Literatur

Grygier, P. (2008): *Wissenschaftsverständnis von Grundschulern im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Grygier, P./Jonen, A./Kircher, E./Sodian, B./Thoerner, C. (2008): „Wissenschaftsverständnis“ und Erwerb von naturwissenschaftlichem Wissen und Experimentierfähigkeit in der Grundschule“. In: Giest, H./Wiesemann, J. (Hrsg.): *Kind und Wissenschaft. Welches Wissenschaftsverständnis hat der Sachunterricht?* Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 69–81.

Grygier, P./Hartinger, A. (2009): *Gute Aufgaben Sachunterricht*. Berlin: Cornelsen Scriptor.

Haider, M./Hartinger, A. (Hrsg., 2010): *Experimentieren im Sachunterricht*. Berlin: Cornelsen Scriptor.

Hammann, M. (2006): *Naturwissenschaftliche Kompetenz: PISA und Scientific Literacy*. In: Steffens, U./Messner, R. (Hrsg.): *PISA macht Schule. Konzeptionen und Praxisbeispiele zur neuen Aufgabekultur*. Wiesbaden: Institut für Qualitätsentwicklung, S. 127–180.

Hammann, M./Phan, T. T. H./Ehmer, M. (2006): *Fehlerfrei experimentieren. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, Jg. 59, H. 5, S. 292–299.

Kahlert, J./Demuth, R. (Hrsg., 2007/2008): *Wir experimentieren in der Grundschule. Bde. 1 und 2 [Physikalische und chemische Zusammenhänge]*. Köln: Aulis Verlag Deubner.

Klahr, D./Nigam, M. (2004): *The Equivalence of Learning Paths in Early Science Instruction. Effects of Direct Instruction and Discovery Learning*. *Psychological Science*, Jg. 15, H. 10, S. 661–667.

Kremer, K./Urhahne, D./Mayer, J. (2008): *Naturwissenschaftsverständnis und wissenschaftliches Denken bei Schülerinnen und Schülern der Sek. I*. In: Harms, U./Sandmann, A. (Hrsg.): *Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO*, Essen 2007. Bd. 3 in der Reihe ‚Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik‘. Innsbruck: StudienVerlag, S. 29–43.

Krüger, D. (2007): *Die Conceptual Change-Theorie*. In: Krüger, D./Vogt, H. (Hrsg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 81–92.

Rieck, K./Stadler, M. (2008): *Wissenschaftsverständnis in der Schule – Wie*

kann man es sinnvoll anbahnen und aufbauen? In: Giest, H./Wiesemann, J. (Hrsg.): *Kind und Wissenschaft. Welches Wissenschaftsverständnis hat der Sachunterricht?* Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 215–227.

Rösch, F./Rieß, W./Nerb, J. (2012). *Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ im problemorientierten Ökologieunterricht der 6. Klassenstufe?* In: Rieß, W./Wirtz, M./Schulz, A./Barzel, B. (Hrsg.; in Vorber.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht – Theoretische Fundierung und empirische Befunde*. München, Berlin: Waxmann.

Schneider, I. K./Hruby, A./Pentzien, S. (2008): *Experimente für kleine Forscher. Komplette Unterrichtseinheiten für den naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht*. Donauwörth: Auer.

Schrenk, M./Gebauer, M. (in Vorb.): *Wir experimentieren in der Grundschule. Bde. 3 und 4 [Biologische Aspekte]*. Hallbergmoos: Aulis.

Stäudel, L./Mogge, S. (Hrsg., 2008): *Aufgaben mit gestuften Hilfen für den Biologie-Unterricht. Aufgabensammlung mit Lernhilfen in unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden*. Seelze: Friedrich.

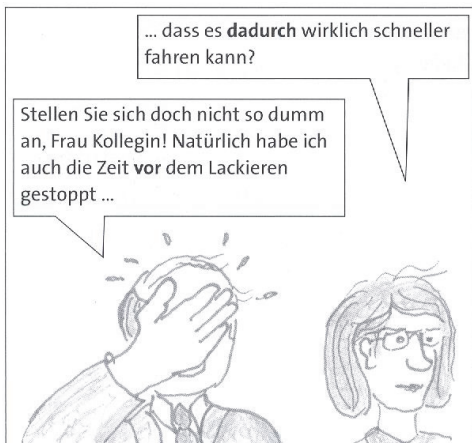
Stäudel, L./Werber, B./Wodzinski, R. (2006): *Forschen wie ein Naturwissenschaftler. Das Arbeits- und Methodenbuch*. Seelze-Velber: Friedrich.

Anschrift des Autors

Frank Rösch (Akad. Rat), Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, Abteilung Biologie, Reutteallee 46, 71634 Ludwigsburg, E-Mail: roesch@ph-ludwigsburg.de

Naturwissenschaftliche Forschung – wie geht das ...?

1. Lies den Comic aufmerksam durch.



2. Schau das dritte Bild genau an. Würdest *du* schon mit der teuren Herstellung des Lacks beginnen? Begründe deine Antwort.

3. Die Wissenschaftlerin möchte überprüfen, ob es wirklich an dem Speziallack lag, dass das Modellsegelboot schneller gefahren ist. Sie plant dazu ein Experiment. Kannst du ihr helfen? Worauf sollte sie unbedingt achten?

Dünger vom Regenwurm?

Wissenschaftler berichten von ihrer Forschung

1. Lies den Bericht der Forscher.

Der Landwirt Schulze hat auf seinem Acker Bohnenpflanzen gepflanzt, die dort sehr gut wachsen. Weil er mehr von diesem Gemüse verkaufen will, hat er im Frühjahr auch auf dem Beet neben seinem Hof Bohnen eingesät. Das Gemüse wächst dort aber nicht so gut. Ihm war aufgefallen, dass auf dem Acker viele braune Häufchen zu finden sind – Regenwurm Kot. Davon hat er auf dem Beet beim Hof viel weniger entdeckt. „Schon seltsam“, wunderte er sich.

Herr Schulze hat uns beauftragt herauszufinden, ob das Pflanzenwachstum von der Menge des Regenwurmkots beeinflusst wird.

Der Landwirt denkt, dass die Pflanzen besser wachsen, wenn die Erde mehr Regenwurm Kot enthält.

Wir haben uns einen Versuch ausgedacht. Wir wollen zwei Blumenschalen verwenden. So können wir Boden und Feuchtigkeit genau kontrollieren.

Für beide Schalen wurde die gleiche Menge trockenen Bodens abgewogen. In einer Schale war es eine Mischung aus Erde und Regenwurm Kot, in der anderen nur Erde. Anschließend wurden in jeder Schale fünf Bohnensamen derselben Sorte genau drei Zentimeter in den Boden gedrückt. Jede Schale wurde bewässert. Mit einem Messbecher haben wir sichergestellt, dass es beides Mal genau gleich viel Wasser war.

Wenn die Vermutung stimmen sollte, müsste man nach einigen Tagen beobachten können, dass die Pflanzen in der Erde ohne Regenwurm Kot langsamer wachsen.

An jedem Tag wurde nun die Höhe der Bohnenpflänzchen gemessen und in eine Tabelle eingetragen. Nach zwei Wochen Beobachtung und Messung konnten wir Folgendes feststellen:

Die Bohnenpflanzen in der Schale mit Regenwurm Kot waren durchschnittlich tatsächlich etwas größer als in der Schale ohne Regenwurm Kot. Das Ergebnis entsprach den Erwartungen.

Landwirt Schulze sagte daraufhin zu uns: „Es scheint zu stimmen, dass Regenwurm Kot gut für das Wachstum der Bohnenpflanzen ist. Aber die Bohnenpflanzen auf meinem Feld wachsen noch viel stärker, als es in Ihrem Experiment zu sehen war. Ich nehme daher an, dass es noch andere Ursachen für das unterschiedliche Wachstum gibt ...“

2. Welche Umweltbedingungen könnten die Wissenschaftler noch untersuchen?

3. Wissenschaftler arbeiten beim Experimentieren oft in einer bestimmten Reihenfolge. Lies die Stichwörter in den Kästchen* durch. Trage sie an der passenden Stelle neben den Text ein.

Wie Forscher Zusammenhänge untersuchen

Ausschneideblatt

1. Schneide die Felder an den gestrichelten Linien aus.
2. Finde heraus, in welcher Reihenfolge Naturwissenschaftler vorgehen können. Als Tipp wurden zwei Felder schon richtig platziert. (Lege dazu die Felder unten auf die grauen Felder auf dem Einklebeblatt M3b.)
3. Kontrolliere, ob die Lösung richtig ist.
4. Klebe die Felder in der richtigen Reihenfolge ein.



Vorhersage mit Beobachtung vergleichen		(neue) Vermutung überlegen	
Untersuchung planen		Vermutung beibehalten	
überprüfbare Vorhersage machen		genau beobachten und messen	
Vermutung ablehnen		Frage stellen	
etwas Interessantes beobachten		Untersuchung durchführen	

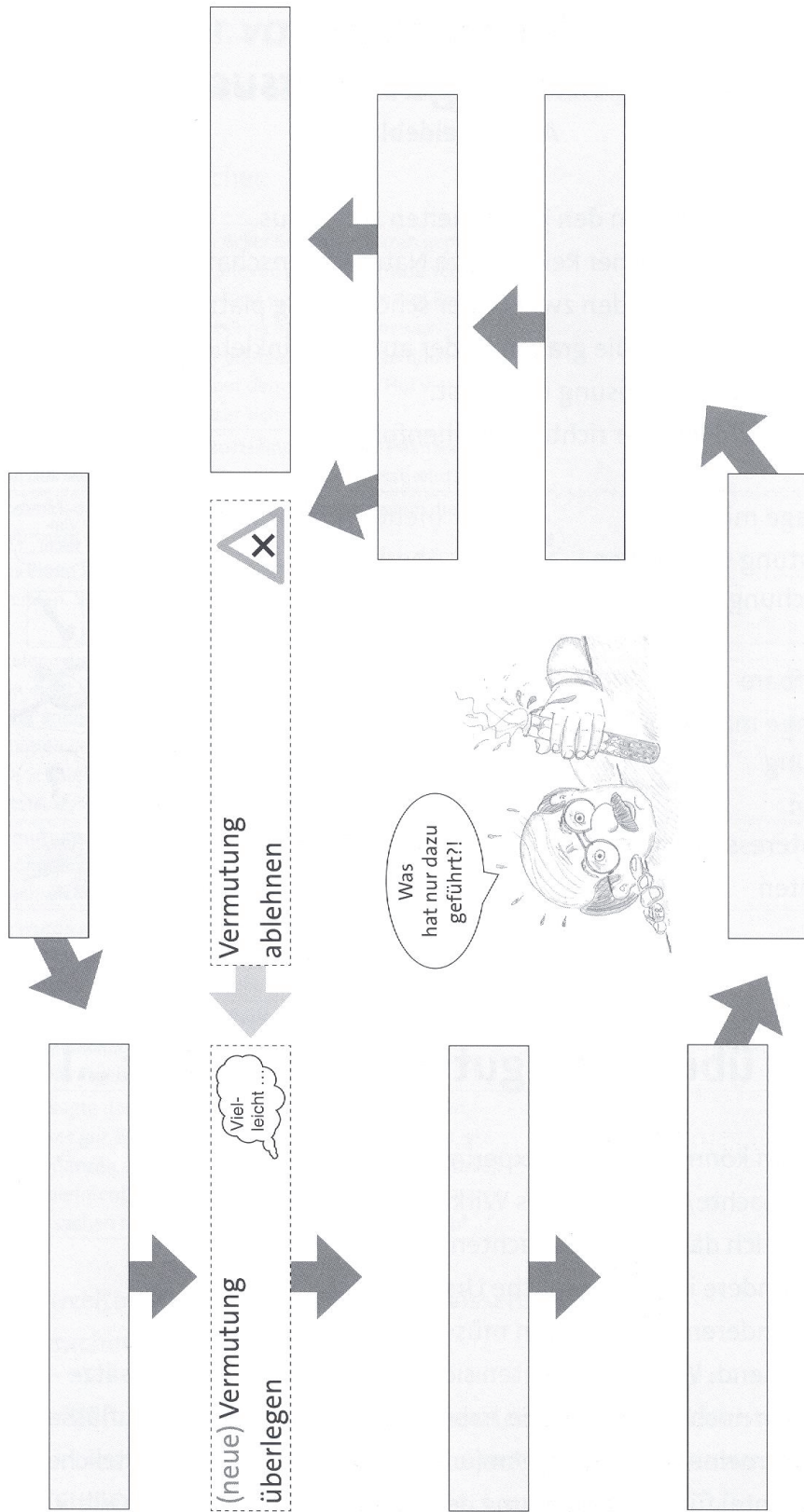
Gut überlegt = gut experimentiert ...!

Diese Fragen können dir beim Experimentieren helfen:

1. Was beobachte/messe ich (als Wirkung)?
2. Wie kann ich das exakt beobachten/messen?
3. Was verändere ich (als mögliche Ursache)?
4. Welche anderen Bedingungen müssen unverändert bleiben?
5. Anschließend: Wodurch könnten sich die beiden Vergleichsansätze außerdem noch unterscheiden haben (gab es noch weitere Einflüsse)?
6. Sprechen meine Beobachtungen (und die Beobachtungen zusätzlicher Experimente) für eine Ablehnung der Vermutung oder für ihre Gültigkeit?

Wie Forscher Zusammenhänge untersuchen

Einklebeblatt

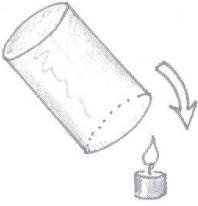


Wir forschen selbst!


Ideen für eigene Experimente

Auf dieser Seite findest du Anregungen für eigene Experimente. Sicher kommen dir noch weitere Ideen.

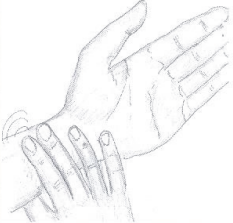
Wirkt sich die Größe eines Glasgefäßes darauf aus, wie lange eine Kerze brennt, wenn man es darüber stülpt?




Lea und Esra überlegen: „Komisch, manchmal dauert es länger und manchmal kürzer, bis die Tafel nach dem Wischen wieder trocken ist. Woran könnte das denn liegen?“




Sina: „Der Puls steigt nur, wenn man richtig Sport treibt, z. B. beim Rennen.“
Monica: „Ich vermute, dass er bereits beim Stehen höher ist als beim Liegen.“



Im Winter bereitet sich Tante Frieda oft ein Vitamingetränk zu, um sich vor Erkältungen zu schützen. Sie denkt sich: „Es muss doch irgendwie möglich sein, das Auflösen der Tabletten zu beschleunigen. Na, vielleicht, wenn ich ...“
Tipp: Vitamintabletten zum Auflösen gibt es im Drogeriemarkt.



Ali und Stefano vermuten, dass man auf einem Bein genauso gut stehen kann, wenn man nach oben schaut.



Achtung: Ihr solltet nur dort experimentieren, wo man sich nicht verletzen kann, wenn man umfällt.

Wichtig: Achte auf Sicherheitsregeln! Experimentiere niemals mit elektrischem Strom und gefährlichen Stoffen oder Geräten! Lass eine brennende Kerze nie aus den Augen!

Wir forschen selbst!

Ideen für eigene Experimente

Auf dieser Seite findest du Anregungen für eigene Experimente.
Sicher kommen dir noch weitere Ideen.

Gibt es Flüssigkeiten in der Küche, die schlecht für das Wachstum von Pflanzen sind?

Tipp: Kresse-, Weizen- oder Bohnensamen

Martin sagt: „Ich bin mir nicht sicher, ob man bei lauter Musik besonders schnell rechnen kann – man könnte das doch in einem fünfminütigen Test überprüfen ...“

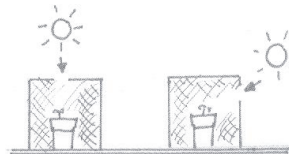
Deine Idee?

Lisa glaubt, dass Pflanzensamen zum Keimen unbedingt Licht benötigen. Hat sie Recht?



Tipp: Kresse-, Weizen- oder Bohnensamen

Paul überlegt sich, ob Pflanzen immer nach oben wachsen oder ob sich auch die Richtung des Lichtes auf das Wachstum auswirkt. Dazu hat er eine Idee: Er besorgt sich zwei gleich große Kartons und schneidet an verschiedenen Stellen Löcher hinein. Auf dem Bild siehst du die Kartons von der Seite.



Welche Vermutung hast du? Überprüfe sie mit einem Experiment.

Tipp: Kresse-, Weizen- oder Bohnensamen

Wichtig: Achte auf Sicherheitsregeln! Experimentiere niemals mit elektrischem Strom und gefährlichen Stoffen oder Geräten!
Lass eine brennende Kerze nie aus den Augen!

Mein Forschertagebuch



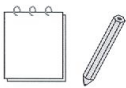
1. Mein Experiment hat zu tun mit:



2. Meine Forschungsfrage:

3. Als Zusammenhang vermute ich:





4. Mit diesem Ansatz und Kontrollansatz überprüfe ich, ob meine Vermutung stimmen kann:

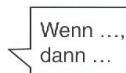
Mein Forschertagebuch



5. Diese Materialien und Geräte benötige ich:

6. Diese Sicherheitsregeln beachte ich:

7. Als Beobachtung sage ich voraus:





8. Meine wirklichen Beobachtungen und Messungen:



9. Meine Schlussfolgerung(en):

9.4 Versicherung an Eides statt

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die Dissertation eigenständig verfasst, nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und wörtlich oder sinngemäß anderen Werken entnommene Stellen als solche gekennzeichnet habe¹⁵⁹.

Ludwigsburg, den 04.09.2017 / 03.02.2018

Frank Rösch

Anmerkungen.

Bis zur Disputation wurden geringfügige Veränderungen gegenüber den Prüfungsexemplaren vom 04.09.2017 vorgenommen, die v. a. die Berichtigung von Tippfehlern sowie Aspekte des Layouts betreffen.

Der Aufnahme von Scans des Einzelbeitrags Roesch, Nerb und Riess (2015) in der Layout-Version des Journals stimmte der zuständige Verlag nicht zu. Die oben angegebenen Seitenzahlen entsprechen jedoch jenen des Aufsatzes im Journal.

¹⁵⁹ Quellenangaben zu manchen Tabellen bzw. Abbildungen finden sich aus Gründen einer besseren Übersichtlichkeit z. T. im Fließtext in unmittelbarer Nähe statt im Titel der Tabelle bzw. Abbildung.

9.5 Verzeichnis der Schriften, Vorträge, Workshops und Poster-Präsentationen

9.5.1 Schriften

Die im Folgenden mit Stern (★) gekennzeichneten Beiträge durchliefen ein (z. T. anonymisiertes) *Peer Reviewing*-Verfahren (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 33; Rost, 2007, S. 33).

9.5.1.1 Monographien

Rösch, F. (2010). *Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung. Handreichung für die beteiligten Lehrkräfte* (2. vollständig überarbeitete Auflage). Unveröffentlichte Projektunterlage. Freiburg.

Rösch, F. (2010). *Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung. Handreichung für das Mitarbeiter-Team am Naturschutzzentrum „Ruhestein“* (2. vollständig überarbeitete Auflage). Unveröffentlichte Projektunterlage. Freiburg.

Rösch, F. (2009). *Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung. Handreichung für die beteiligten Lehrkräfte*. Unveröffentlichte Projektunterlage. Freiburg.

Rösch, F. (2009). *Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung. Handreichung für das Mitarbeiter-Team am Naturschutzzentrum „Ruhestein“*. Unveröffentlichte Projektunterlage. Freiburg.

Rösch, F. (2008). *Experimentelle Kompetenz im Kontext ökologischer Bildung. Förderung und Messung*. Unveröffentlichte Wissenschaftliche Examensarbeit im Rahmen der Prüfung im Promotionsaufbaustudiengang. Sachsenheim / Freiburg: Pädagogische Hochschule.

Rösch, F. (1999). *Marine Wirbellose des südwestdeutschen Malm. Exemplarische Einblicke in die Paläontologie auf der Grundlage handlungsorientierten Lernens. Ein fächerübergreifendes Projekt in Biologie und Geographie für die Sekundarstufe I*. Unveröffentlichte Wissenschaftliche Arbeit zur Zulassung zum 1. Staatsexamen. Bietigheim-Bissingen / Ludwigsburg: Pädagogische Hochschule.

9.5.1.2 Beiträge in Sammelwerken

Rösch, F., Rieß, W. & Nerb, J. (2012). Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ im problemorientierten Ökologieunterricht der 6. Klassenstufe? In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten – Projekt 2* (S. 183-198). Münster: Waxmann. (★)

9.5.1.3 Aufsätze und andere Beiträge in Zeitschriften

Rösch, F. (2015). Externe Validität ökologischer Experimente einschätzen können. Befunde und Überlegungen zur Messung und Förderung. *Biologie Lehren und Lernen - Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)*, 19 (1), 1-25. (★)

Zugriff am 23.12.2015. DOI: <http://doi.org/10.2390/zdb-v19-i1-315>

Verfügbar unter <http://zdb.uni-bielefeld.de/index.php/zdb/article/view/315>

Roesch, F., Nerb, J. & Riess, W. (2015). Promoting Experimental Problem-solving Ability in Sixth-grade Students Through Problem-oriented Teaching of Ecology: Findings of an intervention study in a complex domain. *International Journal of Science Education*, 37 (4), 577-598. (★)

Reinke, R. & Rösch, F. (2015). Positive Bilanz der Ausbildungskooperation „Landwirtschaft macht Schule“. *Landinfo*, 3|2015, 52-58. Verfügbar unter http://www.lwl-bw.de/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lwl/Abteilung_1/Landinfo/Landinfo_extern/03_2015/Reinke_3-2015.pdf (04.04.2017)

Rösch, F. & Reinke, R. (2014b). Innovative Kooperation in der Fachschulausbildung. Bauernhöfe als außerschulischer Lernort im Fokus. *Landinfo*, 5/2014, 63-65. Verfügbar unter http://www.lwl-bw.de/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lwl/Abteilung_1/Landinfo/Landinfo_extern/05_14/Roesch_Reinke_19.pdf (04.04.2017)

Rösch, F. & Reinke, R. (2014a). Landwirtschaft macht Schule. *B&B Agrar - Die Zeitschrift für Bildung und Beratung*, 6/2014, 20-21.

Rösch, F. (2013). Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit!? Welche Rolle spielen aktuelle Schulbücher und Lehrerhandreichungen? *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 66 (5), 299-305. (★)

Rösch, F. (2012). „Forschen wir heute wieder?!“. Ein Unterrichtsvorschlag für die Klassenstufen 3 und 4 zur Förderung des Wissenschaftsverständnisses anhand von Experimenten. *Sache - Wort - Zahl*, 40 (124), Aulis ein Imprint der Stark Verlag GmbH, 12-26. (★)

9.5.1.4 Sonstige Aufsätze und Beiträge

Rösch, F., unter Mitarbeit von R. Reinke & A. Bleher (2015). *Bewerbung für den Polytechnik-Preis für die Didaktik der Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik der Stiftung Polytechnische Gesellschaft*. Projektbeschreibung zum hochschuldidaktischen Konzept und kooperativen Ausbildungsprojekt „Landwirtschaft macht Schule“ (7 S.).

Rösch, F., Rieß, W. & Nerb, J. (2011). Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung. In T. Leuders / Prorektorat für Forschung der Pädagogischen Hochschule Freiburg (Hrsg.), *Forschungsbericht für den Zeitraum 2009 – 2011* (S. 69 – 71). Freiburg: Buchdruckerei F. Weiß.

Rösch, F. (2009). *Subjektives Erleben von Experimentieren im Naturwissenschaftsunterricht der 6. Klassenstufe. Dokumentation einer qualitativen Untersuchung*. Unveröffentlichte schriftliche Hausarbeit im Rahmen des Seminars „Einführung in qualitative Forschungs- und Datenanalysemethoden“ (Prof. Dr. M. Wirtz). Freiburg: Pädagogische Hochschule Freiburg.

9.5.1.5 Abstracts in Tagungsbänden

Rösch, F., Reinke, R., Bleher, A. & Schaal, S. (2017). „Landwirtschaft macht [Hoch-]Schule“ – Konzeption und Qualitätsentwicklung eines regionalen Berufsbildungsnetzwerks. In M. Lindner & M. Hammann (Hrsg.), *„Biologiedidaktik als Wissenschaft“*. *Abstractband zur 21. Internationalen Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBio*. 11. - 14. September 2017 an der Martin-Luther-Universität Halle–Wittenberg (S. 369 – 372). Halle / Saale. Online: <http://wcms.itz.uni-halle.de/download.php?down=46576&elem=3072620> (08.09.2017) (★)

Rösch, F., Reinke, R. & Bleher, A. (2016). „Landwirtschaft macht Schule“ – praktischer Unterricht auf dem Bauernhof zum Thema Milch. In Grimm, P. (Hrsg.), 15. DGE-BW-Forum Milch und Milchprodukte. Kurzfassungen (S. 19). Tagung der Sektion Baden-Württemberg der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE-BW) am 17.03.2016 an der Universität Hohenheim. Stuttgart / Esslingen.

Rösch, F. & Rieß, W. (2015). Messung und Förderung eines basalen Verständnisses für externe Validität bei ökologischen Experimenten. In U. Gebhard, M. Hammann & B. Knälmann (Hrsg.), *Abstractband – Bildung durch Biologieunterricht. 20. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBio und des Forums Fachdidaktik & Schulbiologie. Universität Hamburg. 14.–17. September 2015* (S. 105 – 106). (★)

Dietz, E., Rösch, F. & Schrenk, M. (2015). Abbau von Angst und Ekel gegenüber Spinnen im Rahmen einer Unterrichtseinheit in der Grundschule. In U. Gebhard, M. Hammann & B. Knälmann (Hrsg.), *Abstractband – Bildung durch Biologieunterricht. 20. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBio und des Forums Fachdidaktik & Schulbiologie. Universität Hamburg. 14.–17. September 2015* (S. 363 – 364). (★)

Rösch, F., Rieß, W. & Nerb, J. (2013). Eigenständiges Experimentieren effektiv fördern durch forschendes Lernen in komplexen Domänen? In J. Mayer, M. Hammann, N. Wellnitz, J. Arnold & M. Werner (Hrsg.), *Praxis – Empirie – Theorie. 19. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBIO, 16.09 – 20.09.2013, Universität Kassel. Abstractband* (S. 134 – 135). Kassel: Kassel University Press / Barleben: docupoint. (★)

<http://www.uni-kassel.de/upress/online/OpenAccess/978-3-86219-636-4.OpenAccess.pdf>
(Zugriff am 28.08.2013)

Rösch, F., Rieß, W. & Nerb, J. (2011). Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ im problemorientierten Ökologieunterricht der 6. Klasse? In S. Holzheu (Red.), *Tagungsband der Internationalen Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBIO: „Didaktik der Biologie – Standortbestimmung und Perspektiven“*. Universität Bayreuth, 12.-15.09.2011 (S. 140-141). Bayreuth: Universität, BayCEER / Bamberg: Difo-Druck. (★)

Rösch, F., Rieß, W. & Nerb, J. (2011). Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ im problemorientierten Ökologieunterricht der 6. Klasse. In A. Holzbrecher & P. Blumschein (Hrsg.), *Tagungsunterlagen. „Allgemeine Didaktik, Lehr-Lernforschung und Fachdidaktiken im Dialog“*. Interdisziplinäre Tagung der DGfE-Kommission Schulforschung / Didaktik an der Pädagogischen Hochschule in Kooperation mit der Universität Freiburg (27.-29.09.2011). Freiburg: Pädagogische Hochschule.

Rösch, F., Rieß, W. & Nerb, J. (2010). Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ‚Ökosystem Wald‘. Eine Interventionsstudie in Klassenstufe 6. In Arbeitsgruppe für Empirische Pädagogische Forschung (AEPF) (Hrsg.) / C. Gräsel (Vors.) / M. Gläser-Zikuda u. a. (Red.), *Mixed Methods in der empirischen Bildungsforschung. 74. Tagung der AEPF in Jena. Arbeitsgruppe für Empirische Pädagogische Forschung. 13.-15. September 2010* (S. 64). Jena. (★)

Rösch, F. (2010). Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung. In *Tagungsunterlagen des 8. Symposiums der Stiftung Naturschutzfonds Baden-Württemberg in Leinfelden-Echterdingen am 22.04.2010*.

Rösch, F., Rieß, W. & Nerb, J. (2009). Förderung der experimentellen Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung. In U. Harms, F. X. Bogner, D. Graf, et al. (Hrsg.), *Heterogenität erfassen – individuell fördern im Biologieunterricht. Internationale Tagung der FDdB, Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO (FDdB). Tagungsband der Tagung 21. - 25.09.2009* (S. 136 - 137) Kiel: Breitschuh & Kock. (★)

9.5.2 Vorträge

Hoanzl, M. & Rösch, F. (2017). Keine Sache ist ‚blank‘ – Chancen der Synergie von Fachdidaktik (Biologie) und Sonderpädagogik (ESENT) am konkreten Beispiel „Tiere bauen – Tierbauten“. Tagung der schulischen Ausbildungsberaterinnen und der im integrierten Semesterpraktikum betreuenden Dozierenden der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg am 15.11.2017. Oberlinschule (SBBZ) Reutlingen.

Rösch, F. (2017). Unterricht auf dem Bauernhof – Motivation wecken, Interesse fördern, Lernen lassen. Fokus: Milchviehhaltung und Bewertungskompetenz. Vortrag und Workshop anlässlich der Fachexkursion „So erzeugen wir Milch“ der Initiative Lernort Bauernhof des Bauernverbandes Schwäbisch Hall – Hohenlohe – Rems e. V. sowie der Landwirtschaftsämter der Landkreise Schwäbisch Hall, Hohenlohe, Rems – Murr und Main – Tauber am 07.11.2017. Akademie für Landbau und Hauswirtschaft Kupferzell.

Rösch, F., Reinke, R., Bleher, A. & Schaal, S. (2017). „Landwirtschaft macht [Hoch-]Schule“ – Konzeption und Qualitätsentwicklung eines regionalen Berufsbildungsnetzwerks. „Biologiedidaktik als Wissenschaft“ – 21. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBIO. 11. bis 14. September 2017 an der Martin-Luther-Universität Halle – Wittenberg. Halle / Saale. 12.09.2017.

Hoanzl, M. & Rösch, F. (2017). Chancen der Synergie von Fachdidaktik und sonderpädagogischer Förderung. Emotionale-soziale Entwicklung (ESENT) und Biologiedidaktik. „Chancen der Synergie von fachdidaktischer und sonderpädagogischer Förderung im Rahmen schulpraktischer Studien“ – Austauschtreffen Fachdidaktiken und Sonderpädagogik am 13.07.2017. Pädagogische Hochschule Ludwigsburg.

Rösch, F., Reinke, R. & Bleher, A. (2016). Landwirtschaft macht Schule. Vorstellung eines kooperativen Ausbildungsprojektes für künftige Lehrkräfte und Junglandwirte. Vortrag & Workshop (Handout, 69 S.). „Bildung für nachhaltige Entwicklung im außerschulischen Lernort Bauernhof“ – Fortbildung an der Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und ländliche Räume, Schwäbisch Gmünd, 29./30.11.2016.

Rösch, F., Reinke, R. & Bleher, A. (2016). „Landwirtschaft macht Schule“ – praktischer Unterricht auf dem Bauernhof zum Thema Milch. Tagung der Sektion Baden-Württemberg der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE-BW) am 17.03.2016 an der Universität Hohenheim. Stuttgart / Esslingen.

Rösch, F. & Rieß, W. (2015). Messung und Förderung eines basalen Verständnisses für externe Validität bei ökologischen Experimenten. „Bildung durch Biologieunterricht“ – 20. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBio und des Forums Fachdidaktik & Schulbiologie. Universität Hamburg. 14.–17. September 2015.

Rösch, F., Rieß, W. & Nerb, J. (2013). Eigenständiges Experimentieren effektiv fördern durch forschendes Lernen in komplexen Domänen? „Praxis – Empirie – Theorie“ – 19. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBIO, 16.09 – 20.09.2013, Universität Kassel.

Rösch, F. (2013). „Förderung des Wissenschaftsverständnisses anhand von Experimenten“. Gastvortrag an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen – Nürnberg am 12.06.2013.

Rösch, F., Rieß, W. & Nerb, J. (2011). Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ im problemorientierten Ökologieunterricht der 6. Klasse. „Allgemeine Didaktik, Lehr-Lernforschung und Fachdidaktiken im Dialog“ – Interdisziplinäre Tagung der DGfE-Kommission Schulforschung / Didaktik an der Pädagogischen Hochschule in Kooperation mit der Universität Freiburg (27.-29.09.2011).

Rösch, F. & Rieß, W. (2011). Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ im Kontext ökologischer Bildung. Ergebnisse des Forschungsprojekts und Ausblick. Abschlussworkshop des strukturierten Promotionskollegs e*MNU. Pädagogische Hochschule Freiburg. 22./23.07.2011.

Vogel, A., Bräutigam, J., Rösch, F., Rieß, W. & Nerb, J. (2011). Systemisches Denken & experimentelle Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung. Forschungskolloquium des Instituts für Psychologie. Pädagogische Hochschule Freiburg. 05.07.2011.

Bräutigam, J., Rösch, F.; Schwab, S. & Vogel, A. (2011). Systemisches Denkens & experimentelle Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung. Abschlussveranstaltung der Forschungsprojekte von e*MNU und SYSDENA für teilnehmende Lehrkräfte. Seebach. 08.06.2011.

Rösch, F. (2011). Struktur der Dissertation „Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung“. Workshop des strukturierten Promotionskollegs e*MNU. Pädagogische Hochschule Heidelberg. 28.01.2011.

Rösch, F. (2010). Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung. Forschungsmethodologische Überlegungen zu einer Interventionsstudie in Klassenstufe 6 im Rahmen der Fachdidaktik Biologie. Prüfungskolloquium zum Hochschulzertifikat „Forschungsmethoden und Evaluation“. Pädagogische Hochschule Freiburg. 25.11.2010.

Rösch, F. (2010). Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext „Ökosystem Wald“ – erste Ergebnisse und deren Verortung. Workshop des strukturierten Promotionskollegs e*MNU. Pädagogische Hochschule Freiburg. 04./05.10.2010.

Rösch, F., Rieß, W. & Nerb, J. (2010). Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ‚Ökosystem Wald‘. Eine Interventionsstudie in Klassenstufe 6. „Mixed Methods in der empirischen Bildungsforschung“ – 74. Tagung der AEPF in Jena. Arbeitsgruppe für Empirische Pädagogische Forschung. 13.-15. September 2010.

Rösch, F. (2010). Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung. 8. Symposiums der Stiftung Naturschutzfonds Baden-Württemberg in Leinfelden-Echterdingen am 22.04.2010.

Rösch, F. (2010). Möglichkeiten der Vernetzung schulischer und außerschulischer Bildungsarbeit am Beispiel der Förderung von Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung in Kooperation mit dem Naturschutzzentrum „Ruhstein“. Jährliche Tagung „Naturpädagogik“ der baden-württembergischen Naturschutzzentren. Seebach, Naturschutzzentrum *Ruhstein*. 21.04.2010.

Vogel, A., Rösch, F., Bräutigam, J. & Schwab, S., Rieß, W. & Nerb, J. (2010). Förderung systemischen Denkens und experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung. Kolloquium ‚Grundlagen- und Praxisforschung‘ des Instituts für Psychologie. Pädagogische Hochschule Freiburg. 12.01.2010.

Vogel, A., Rösch, F., Bräutigam, J. & Schwab, S. (2009). Förderung systemischen Denkens bzw. experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung. Bericht der Pilotstudie. Seebach. 17.09.2009.

Rösch, F. (2009). Förderung der experimentellen Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung: Aktueller Stand. Workshop des strukturierten Promotionskollegs e^xMNU. Pädagogische Hochschule Freiburg. 19.06.2009.

Rösch, F. & Vogel, A. (2009). Forschungsprojekte zur Kompetenz-Förderung: SYSDENA und e^xMNU. Schulleiter-Dienstbesprechung des Staatlichen Schulamtsbezirks Ortenau. Offenburg. 21.04.2009.

Rösch, F. (2008). Experimentelle Kompetenz. Förderung im Rahmen einer Wirkungsstudie. Vortrag im Rahmen des Fachdidaktik-Seminars (Prof. Dr. W. Rieß). Pädagogische Hochschule Freiburg. 07.11.2008.

Rösch, F. (2008). Vorstellung des Forschungsprojekts. Einführungsworkshop des strukturierten Promotionskollegs e^xMNU. Altheim-Heiligkreuztal. 06.-08.10.2008. 07.10.2008.

Rösch, F. (2008). Experimentelle Kompetenz und ihre Förderung. Vortrag und Moderation von Arbeitsphasen. Workshop des Forschungsprojekts SYSDENA. Pädagogische Hochschule Freiburg. 02.10.2008.

9.5.3 Workshops und Fortbildungen

Rösch, F., Reinke, R. & Bleher, A. (2016). Landwirtschaft macht Schule. Vorstellung eines kooperativen Ausbildungsprojektes für künftige Lehrkräfte und Junglandwirte. Vortrag & Workshop (Handout, 69 S.), Fortbildung "Bildung für nachhaltige Entwicklung im außerschulischen Lernort Bauernhof" an der Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und ländliche Räume, Schwäbisch Gmünd, 29./30.11.2016.

Rösch, F. (2013). Workshop in Verbindung mit dem Gast-Vortrag „Förderung des Wissenschaftsverständnisses anhand von Experimenten“. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen – Nürnberg am 12.06.2013.

Rösch, F. (2010). Zwei differente Fortbildungen für Mitarbeitende des Naturschutzzentrums *Ruhestein*. Seebach. 16.03. und 08.06.2010.

Rösch, F. (2010). Fortbildung zum Treatment EXP für am Forschungsprojekt teilnehmende Lehrkräfte. Renchen. 04.03.2010.

Rösch, F. (2009). Zwei differente Fortbildungen für Mitarbeitende des Naturschutzzentrums *Ruhestein*. Seebach. 24.03. und 07.05.2009.

Rösch, F. (2009). Fortbildungen zum Treatment EXP für am Forschungsprojekt teilnehmende Lehrkräfte. Renchen. 16. und 17.03.2009.

9.5.4 Poster-Präsentationen

Dietz, E., Rösch, F. & Schrenk, M. (2015). Abbau von Angst und Ekel gegenüber Spinnen im Rahmen einer Unterrichtseinheit in der Grundschule. „Bildung durch Biologieunterricht“ – 20. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBio und des Forums Fachdidaktik & Schulbiologie. Universität Hamburg. 14.–17. September 2015.

Rösch, F., Rieß, W. & Nerb, J. (2011). Förderung „experimenteller Problemlösefähigkeit“ im problemorientierten Ökologieunterricht der 6. Klasse? „Didaktik der Biologie – Standortbestimmung und Perspektiven“ – Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBIO. Universität Bayreuth, 12.-15.09.2011.

Rösch, F., Rieß, W. & Nerb, J. (2009). Förderung der experimentellen Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung. „Heterogenität erfassen – individuell fördern im Biologieunterricht“ – Internationale Tagung der FDdB, Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO (FDdB). Tagungsband der Tagung 21. - 25.09.2009. Universität Kiel.

Rösch, F. (2009). Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit. Auftaktveranstaltung des strukturierten Promotionskollegs e^xMNU. Pädagogische Hochschule Freiburg. 28.04.2009.

Rösch, F. (2008). Vorstellung des Projekts „Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit im Kontext ökologischer Bildung“. Methoden-Workshop des strukturierten Promotionskollegs e^xMNU. Pädagogische Hochschule Freiburg. 27./28.11.2008.

9.6 Auszeichnungen für Projekte

2015: Erster Platz des vlf-Bildungspreises 2015 des Verbands landwirtschaftlicher Fachbildung Baden-Württemberg e. V. für das Ausbildungsprojekt „Landwirtschaft macht Schule“ in Kooperation mit der Akademie für Landbau und Hauswirtschaft (ALH) Kupferzell (R. Reinke) und dem Bauernverband Schwäbisch Hall – Hohenlohe – Rems e. V. (A. Bleher) gemeinsam mit Biologie- und Geographie-Lehramtsstudierenden der PH sowie der Landbau-Fachklasse 2013/2016 der ALH.

2011: Umweltpreis der Stiftung Umweltpreis der Sparkasse Pforzheim – Calw für das Projekt SYSDENA („Systemisches Denken im Umgang mit Natur als Element der Bildung für nachhaltige Entwicklung“) der Pädagogischen Hochschule Freiburg (Prof. Dr. W. Rieß, Prof. Dr. J. Nerb) und der Universität Freiburg (Prof. Dr. W. Konold) gemeinsam mit Dr. J. Bräutigam, Dr. S. Schwab und A. Vogel.

9.7 Erfolgreiche Anwerbung von finanziellen Mitteln für Forschungsprojekte

Rösch, F. (2014). Förderantrag an die Forschungsförderungsstelle der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg zur Übersetzungsbeihilfe zu Roesch, Nerb und Riess (2015).

Rösch, F. & Rieß, W. (2009). Projektantrag im Rahmen der Forschungsförderung der Pädagogischen Hochschule Freiburg für die Durchführung der Schulbuchanalyse (Rösch, 2013).

Rösch, F. (2009). Fördergesuch an die Sparkasse Freiburg zur Unterstützung des Kooperationsprojektes von e*MNU und SYSDENA (Incentives für Lernende und Lehrkräfte).

Epilog

*„[...] und am Ende, ganz am Ende
wird das Meer in der Erinnerung
blau sein.“*

(Reiner Kunze¹⁶⁰)



*Meer vor Elba*¹⁶¹

Es ist Zeit zu *leben* ...

Gott sei Dank.

¹⁶⁰ zit. nach <http://www.planetlyrik.de/reiner-kunze-voegel-ueber-tau/2014/05/> (18.05.2016)

¹⁶¹ Foto: HYDRA – *Marine Zoologie-* und Tauchkurs (August 2008)