Studien zum Physik- und Chemielernen

M. Hopf, H. Niedderer, M. Ropohl, E. Sumfleth [Hrsg.]

320

Florian Seiler

Entwicklung und Evaluation eines Seminarkonzepts zur Förderung der experimentellen Planungskompetenz von Lehramtsstudierenden im Fach Chemie

λογος

Studien zum Physik- und Chemielernen

Band 320

Florian Seiler

Entwicklung und Evaluation eines Seminarkonzepts zur Förderung der experimentellen Planungskompetenz von Lehramtsstudierenden im Fach Chemie

Logos Verlag Berlin

Studien zum Physik- und Chemielernen
Martin Hopf, Hans Niedderer, Mathias Ropohl und Elke Sumfleth [Hrsg.]

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

© Copyright Logos Verlag Berlin GmbH 2021

Alle Rechte vorbehalten.

ISBN 978-3-8325-5397-5
ISSN 1614-8967

Logos Verlag Berlin GmbH
Georg-Knorr-Str. 4, Geb. 10
D-12681 Berlin

Tel.: +49 (0)30 / 42 85 10 90
Fax: +49 (0)30 / 42 85 10 92
https://www.logos-verlag.de

Entwicklung und Evaluation eines Seminarkonzepts zur Förderung der experimentellen Planungskompetenz von Lehramtsstudierenden im Fach Chemie

DISSERTATION
ZUR ERLANGUNG DES AKADEMISCHEN GRADES
EINER DOKTORIN ODER EINES DOKTORS
DER DIDAKTIK DER NATURWISSENSCHAFTEN
„DR. PHIL. NAT." (DOCTOR PHILOSOPHIAE NATURALIS)
IM PROMOTIONSFACH DIDAKTIK DER CHEMIE
DER FAKULTÄT CHEMIE UND PHARMAZIE
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

vorgelegt von
Florian Seiler
aus Passau

im Jahr 2021

Gutachter
Prof. Dr. Oliver Tepner
Prof. Dr. Stefan Krauss

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis I
1 Einleitung 5
2 Theoretischer Hintergrund 7
2.1 Planungskompetenz 7
2.1.1 Begriffsbestimmung Unterrichtsplanung 7
2.1.2 Planungskompetenz als Teil der professionellen Handlungskompetenz.. 10
2.1.3 Qualitätskriterien zur Unterrichtsplanung 24
2.1.4 Empirische Befunde zur Unterrichtsplanung 33
2.2 Experimentelle Erkenntnisgewinnung im Fach Chemie 40
2.2.1 Das Experiment 41
2.2.2 Einsatz von Experimenten im Unterricht 48
2.2.3 Empirische Befunde zum Experimentieren im Chemieunterricht 55
2.3 Kriterien zur Planung von Experimentierprozessen 63
2.3.1 Lerngruppe 63
2.3.2 Zielorientierung und Zielklarheit 65
2.3.3 Offenheit 68
2.3.4 Unterstützung 73
2.3.5 Weitere Kriterien 79
3 Ziele, Forschungsfragen und Hypothesen 85
3.1 Entwicklung eines wirksamen Seminarkonzepts 85
3.2 Förderung und Erfassung experimenteller Planungskompetenz 86
4 Methodik und Durchführung 89
4.1 Seminarkonzept 89
4.1.1 Theoriefolien 90
4.1.2 Konzept zur Planung selbstgesteuerter Experimentierprozesse 92
4.1.3 Beispiele und Musterprotokoll 99
4.1.4 Praxisphase 104
4.1.5 Feedbackbogen 106
4.2 Untersuchungsdesign und Stichprobe 108
4.3 Erhebungsinstrumente 109
4.3.1 Kontrollvariablen 110

4.3.2 Experimentell-fachdidaktisches Wissen 112
4.3.3 Selbstwirksamkeitserwartungen 113
4.3.4 Test zur experimentellen Planungskompetenz 114
4.3.5 Protokolle 117
4.4 Kodiermanual zur Analyse schriftlicher Planungen bezüglich selbstgesteuerter Experimentierprozesse 119
4.4.1 Inhaltsanalyse 119
4.4.2 Theoretische Fundierung und Validität des Kategoriensystems 121
4.4.3 Vorgehensweise bei der Reliabilitätsanalyse 126
4.4.4 Reliabilitätsanalyse und Finalisierung des Kodiermanuals 128
4.5 Gütekriterien und Hinweise zur Datenauswertung 131
4.5.1 Gütekriterien 131
4.5.2 Hinweise zur Datenauswertung 135
5 Ergebnisse der Pilotstudie 143
5.1 Stichprobe und Kontrollvariablen 143
5.2 Test zum experimentell-fachdidaktischen Wissen 145
5.3 Selbstwirksamkeitserwartung 147
5.4 Test zur experimentellen Planungskompetenz 149
5.5 Weitere Ergebnisse 151
5.6 Evaluation der Pilotstudie 153
5.7 Konsequenzen für die Hauptstudie 155
6 Ergebnisse der Hauptstudie 157
6.1 Stichprobe und Kontrollvariablen 157
6.2 Ergebnisse zur Entwicklung des experimentell-fachdidaktischen Wissens (Forschungsfrage 1) 159
6.3 Ergebnisse zur Entwicklung der domänenspezifischen Selbstwirksamkeitserwartungen (Forschungsfrage 2) 161
6.4 Ergebnisse zur Entwicklung der experimentellen Planungskompetenz (Forschungsfrage 3) 163
6.5 Ergebnisse zu den Entwicklungen während des Seminars (Forschungsfrage 4) 166
6.6 Ergebnisse zur Objektivität, Reliabilität und Validität des Kodiermanuals (Forschungsfrage 5) 169
6.6.1 Ergebnisse zur Objektivität des Kodiermanuals 169
6.6.2 Ergebnisse zur Reliabilität Kodiermanuals 169

6.6.3 Ergebnisse zur Validität des Kodiermanuals 170
7 Diskussion und Ausblick 175
7.1 Diskussion der Ergebnisse 175
7.1.1 Entwicklung eines lernwirksamen Seminarkonzepts 175
7.1.2 Förderung und Erfassung experimenteller Planungskompetenz 176
7.2 Reflexion methodischer Aspekte und Ausblick 181
8 Zusammenfassung 183
9 Literaturverzeichnis 185
10 Anhang 213
10.1 Verzeichnisse 213
10.1.1 Abbildungsverzeichnis 213
10.1.2 Tabellenverzeichnis 217
10.2 Test zur experimentellen Planungskompetenz 220
10.3 Theoriefolien 222
10.4 Beispiele und Musterprotokoll 246
10.5 Feedbackbogen 260
10.6 Kodiermanual 263
10.7 Offene Antworten aus der Evaluation der Pilotstudie 282
10.8 Statistiken 284

1 Einleitung

Die mittelmäßigen Ergebnisse deutscher Schülerinnen und Schüler in internationalen Vergleichsstudien wie TIMSS und PISA, lösten in Deutschland die Einführung der nationalen Bildungsstandards aus (Reusser, 2014). In Rahmen dieser Bildungsstandards wurden u. a. Kompetenzen formuliert, die die Schülerinnen und Schüler bis zum mittleren Schulabschluss durch den Unterricht erworben haben sollten. Dabei stellt „die gezielte und nach wissenschaftlichen Erkenntnissen gestaltete Planung, Organisation und Reflexion von Lehr- und Lernprozessen sowie ihre individuelle Bewertung und systemische Evaluation“ (Sekretariat Kultusministerkonferenz, 2019, S. 3) nach wie vor eine der wichtigsten Aufgaben einer Lehrkraft dar. Den Lehrkräften kommt es demnach zu, adäquate Lerngelegenheiten zu gestalten, um damit den Kompetenzerwerb ihrer Schülerinnen und Schüler sicherzustellen. In den Naturwissenschaften nehmen Erkenntnisgewinnungsprozesse eine bedeutsame Rolle ein, so dass in den nationalen Bildungsstandards diesen Kompetenzen mit dem Bereich „Erkenntnisgewinnung“ Rechnung getragen wurde (Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005a, 2005b, 2005c). Schülerinnen und Schüler sollen u. a. in die Lage versetzt werden, eigene Fragestellungen zu entwickeln, geeignete Untersuchungen zur Beantwortung von Fragestellungen und Überprüfung von Hypothesen zu planen, diese Methoden durchzuführen und die erhobenen oder recherchierten Daten entsprechend auszuwerten. Trotz dieser Forderungen beschränken sich praktische Laborarbeiten von Schülerinnen und Schüler im naturwissenschaftlichen Unterricht in Deutschland häufig auf den Einsatz vorstrukturierter Experimentieranleitungen, in denen Aspekte experimenteller Erkenntnisgewinnung eine eher untergeordnete Rolle spielen (Reiss, Sälzer, Schiepe-Tiska, Klieme & Köller, 2016; Alexandra Schulz, 2011; Stiller, 2015; Streller, Bolte & Dietz, 2019). Für die Gestaltung adäquater kompetenzorientierter Experimentierumgebungen ist die experimentelle Planungskompetenz von Lehrkräften von großer Bedeutung. Darunter können diejenigen Fähigkeiten und Fertigkeiten verstanden werden, welche zur Planung lernförderlicher, kompetenzorientierter Experimentierprozesse notwendig sind.

Die mangelnde Umsetzung der geforderten Kompetenzorientierung in Bezug auf Erkenntnisgewinnungsprozesse im Chemieunterricht soll durch die Teilnahme an entsprechenden Hochschulveranstaltungen auf lange Sicht verbessert werden. Wie ein solches Seminar zur Förderung der experimentellen Planungskompetenz von Chemie-Lehramtsstudierenden konzipiert werden kann, wird als Forschungsdesiderat aufgefasst. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde daher ein chemiedidaktisches Hochschulseminar entwickelt. Zu diesem Zweck wurden theoriebasierte Qualitätskriterien erarbeitet und den teilnehmenden Studierenden zur Verfügung gestellt. Im Verlauf des Seminars konnten die Studierenden diese Kriterien auf insgesamt sechs eigene Beispiele anwenden. In einem zyklischen Ablauf wurden die entwickelten Experimentierprozesse in einem zweiten Schritt von je einer Kommilitonin / einem Kommilitonen getestet und kriterienbasiert

evaluiert. Diese Rückmeldungen werden von den Studierenden abschließend zur Reflexion und Überarbeitung ihrer eigenen Entwürfe genutzt. Dieser zyklische Ablauf aus Planung, Anwendung und Reflexion fand insgesamt dreimal statt und wurde in Anlehnung an eine Learning Study (Nilsson, 2014) und bereits evaluierten Seminaren an der Universität Regensburg (Anthofer, 2017; Kobl, 2021) konzipiert. Um die grundsätzliche Lernwirksamkeit der Seminarkonzeption zu untersuchen, wurden in einer Evaluationsstudie über drei Semester hinweg die Daten der Studierenden hinsichtlich ihres experimentellfachdidaktischen Wissens und ihrer domänenspezifischen Selbstwirksamkeitserwartungen erhoben. Um die experimentelle Planungskompetenz der Studierenden messen zu können, wurde ein Performanztest eingesetzt und die im Verlauf des Seminars geplanten Experimentierprozesse analysiert. Ein eigens für diese Arbeit entwickeltes Kodiermanual sollte Aufschluss über die Qualität dieser schriftlichen Planungen und Rückschlüsse auf die Entwicklung der experimentellen Planungskompetenz der teilnehmenden Studierenden ermöglichen.

Im Folgenden werden zunächst die theoretischen Grundlagen dargelegt, die für die Entwicklung und Evaluation der vorgestellten Seminarkonzeption eine Rolle spielen (Kapitel 2). Anschließend werden die daraus abgeleiteten Ziele, Forschungsfragen und Hypothesen vorgestellt (Kapitel 3). In Kapitel 4 werden die zugrundliegende Seminarkonzeption sowie die für die Studie bedeutsamen methodischen Aspekte beschrieben. Die Ergebnisse werden in den Kapiteln 5 und 6 besprochen und anschließend in Kapitel 7 reflektiert. Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung in Kapitel 8.

2 Theoretischer Hintergrund

In den folgenden Abschnitten werden die theoretischen Grundlagen für die vorliegende Arbeit dargestellt. Dabei werden zunächst die Fähigkeit (angehender) Lehrkräfte zur Planung von Lerngelegenheiten betrachtet und bedeutsame Qualitätskriterien erarbeitet. Nachfolgend werden die experimentelle Erkenntnisgewinnung und deren Einsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht in den Fokus gerückt. Abschließend werden Kriterien thematisiert, welche für die Planung von Experimentierprozessen eine bedeutsame Rolle spielen.

2.1 Planungskompetenz

2.1.1 Begriffsbestimmung Unterrichtsplanung

Planung, Organisation und Reflexion von Unterricht stellen die Kernaufgaben von Lehrkräften dar (Sekretariat Kultusministerkonferenz, 2019). Dementsprechend finden diese sowohl in den Standards der Lehrerbildung hinsichtlich des Unterrichtens aus allgemeiner bildungswissenschaftlicher Sicht (Sekretariat Kultusministerkonferenz, 2019) als auch in den fachspezifischen Kompetenzprofilen (Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2019) explizit Erwähnung. Bei Unterricht „handelt es sich um einen sozialen und gegenstandsbezogenen Prozess des Wissens- und Kompetenzaufbaus, bei dem Personen in komplementären Rollen – berufsmäßig Lehrende sowie Gruppen von Lernenden – bezogen auf gegebene Ziele und im Kontext von Normen und Rahmenbedingungen sich in planvoller Weise mit Sach- und Kulturgegenständen auseinandersetzen“ (Reusser, 2009, S. 881). Aufgrund dieser Zielgerichtetheit und Planmäßigkeit unterrichtlicher Prozesse stellt die Planung von Lehr-Lern-Prozessen „eine wichtige Schlüsselstelle des Unterrichtens dar“ (Wernke et al., 2015, S. 430). Unterricht ist grundsätzlich ein hochkomplexer Vorgang (Gassmann, 2013; Helmke & Schrader, 2008), welcher sich zwischen planerischen Handlungen und deren „situationsangemessener Adaption“ (Gassmann, 2013, S. 105) vollzieht. Die Unterrichtsplanung stellt somit eine notwendige, wenn auch nicht hinreichende, Voraussetzung für guten Unterricht dar.

Unter dem Begriff Unterrichtsplanung können dabei alle Maßnahmen verstanden werden, die von Lehrkräften im Vorfeld des Unterrichts getroffen werden, um die stattfindenden Lehr-Lern-Prozesse zu optimieren (Gassmann, 2013; Sandfuchs, 2009b). Die Planungen, welche von Lehrkräften getätigt werden müssen, können dabei sowohl längerfristige (ganzes Schuljahr, Halbjahr oder Quartal) als auch kurzfristige Zeiträume (Unterrichtseinheit, Unterrichtsstunde, Teilsequenzen einer Unterrichtsstunde) betreffen (Sandfuchs, 2009a). So wie die Zeiträume, für die geplant wird, ist auch der Planungsprozess selbst „keine zeitlich genau umrissene Tätigkeit“ (Seel, 2011, S. 32), sondern kann sich über längere Zeiträume hinweg auch hinein in andere Lebenssituationen erstrecken (Seel, 2011).

Aus kognitionspsychologischer Sicht bedeutet Planen das Entwerfen einer zeitlichen Handlungsabfolge unter Beachtung einschränkender Randbedingungen (Funke & Glodowski, 1990). Einer eher weiter gefassten Begriffsklärung zufolge schließen Planungsprozesse neben der eigentlichen Planerstellung auch die Planausführung und dessen Überwachung mit ein (Funke & Fritz, 1995; Weingarten, 2019). Shavelson und Stern (1981) kennzeichnen die Unterrichtsplanung in diesem Sinne als „zirkulären kognitiven Entscheidungsablauf, bei dem ausgehend von Analysen der Vorbedingungen (z. B. Lernvoraussetzungen) in Selektions- und Integrationsprozessen Entscheidungen für Unterrichtsaktivitäten getroffen werden“ (Vogelsang & Riese, 2017, S. 49). Demnach ist die Unterrichtsplanung ein komplexer Entscheidungsprozess, ein offenes Problem, für das durch mentales Handeln eine Lösung entwickelt werden muss (Vogelsang & Riese, 2017). Teilweise werden die Begriffe Planen und Problemlösen voneinander abgegrenzt, da zwar jede Problemlösung Planungsprozesse beinhaltet, „Planen [aber] auch ohne Problemlösen erfolgen kann“ (Funke & Fritz, 1995, S. 32). Aufgrund der Komplexität unterrichtlicher Lehr-Lern-Prozesse, können in diesem Kontext Planungs- und Problemlöseprozesse durchaus gleichgesetzt werden.

Solche mental ablaufenden Planungsprozesse können sich in Form schriftlicher Planungen manifestieren. Da im Berufsalltag von Lehrkräften Unterrichtsplanungen meist eher verkürzt ausfallen (Seel, 2011), liegt die Vermutung nahe, dass zwar bestimmte Aspekte bei den von Lehrkräften getätigten Planungen unbeachtet bleiben, einige Planungsprozesse aber automatisiert ablaufen und deshalb nicht verschriftlicht werden (Bakenhus, Wernke & Zierer, 2017). Um diese Frage zu beantworten, untersuchten Bakenhus et al. (2017) die Planungsnotizen von 122 Lehrkräften verschiedener Fächer und Schularten. Die Proband*innen wurden dabei aufgefordert in einer fiktiven Situation, in der sie keine detaillierten Informationen zur genauen Klassenkonstellation, zur Ausstattung, zu den Räumlichkeiten, zum Thema, zum Fach und zum genauen Zeitraum hatten, ihre Planungsüberlegungen zu notieren. Die Ergebnisse bestätigen die Vermutung, dass die untersuchten Lehrkräfte bei ihren Planungen eine Vielzahl von Überlegungen (z. B. zur Lerngruppe) anstellen, welche in alltäglichen Unterrichtsplanungen eher unterbewusst und automatisiert ablaufen und deshalb nicht expliziert werden. Stender (2014) spricht in diesem Zusammenhang davon, dass durch Reflexion der Planausführungen erfolglose Handlungspläne optimiert oder verworfen werden, während erfolgreiche Handlungspläne mit der Zeit in prozedurale Routinen übergehen. Mit steigender Erfahrung der Lehrkräfte können diese sogenannten Handlungsskripte bewusste Planungsprozesse ersetzen (Stender, 2014). Nach Seel (2011) durchlaufen Studierende und erfahrende Lehrkräfte grundsätzlich ähnliche Phasen beim Planungsprozess: Orientierungs- und Erkundungsphasen, Präzisierungsphasen und Phasen der Feinabstimmung. Planungsprozesse haben im Allgemeinen meist keinen linearen Verlauf (Vogelsang & Riese, 2017), da sich einzelne Planungsentscheidungen meist gegenseitig bedingen oder widersprechen, sodass sich der Planungsprozess nur schrittweise dem Ziel nähert (Weingarten, 2019). Für Unterrichtsplanungen können solche komplexen Strukturen in gleicher Weise angenommen werden, da eine Vielzahl von Faktoren eine Rolle im Planungsprozess spielen (Lernvor-

aussetzungen, Ziel- und inhaltliche Entscheidungen, Kontext, etc.). Das Angebots-Nutzungs-Modell verdeutlicht dieses Beziehungsgefüge und die daraus resultierende Komplexität des Unterrichts:

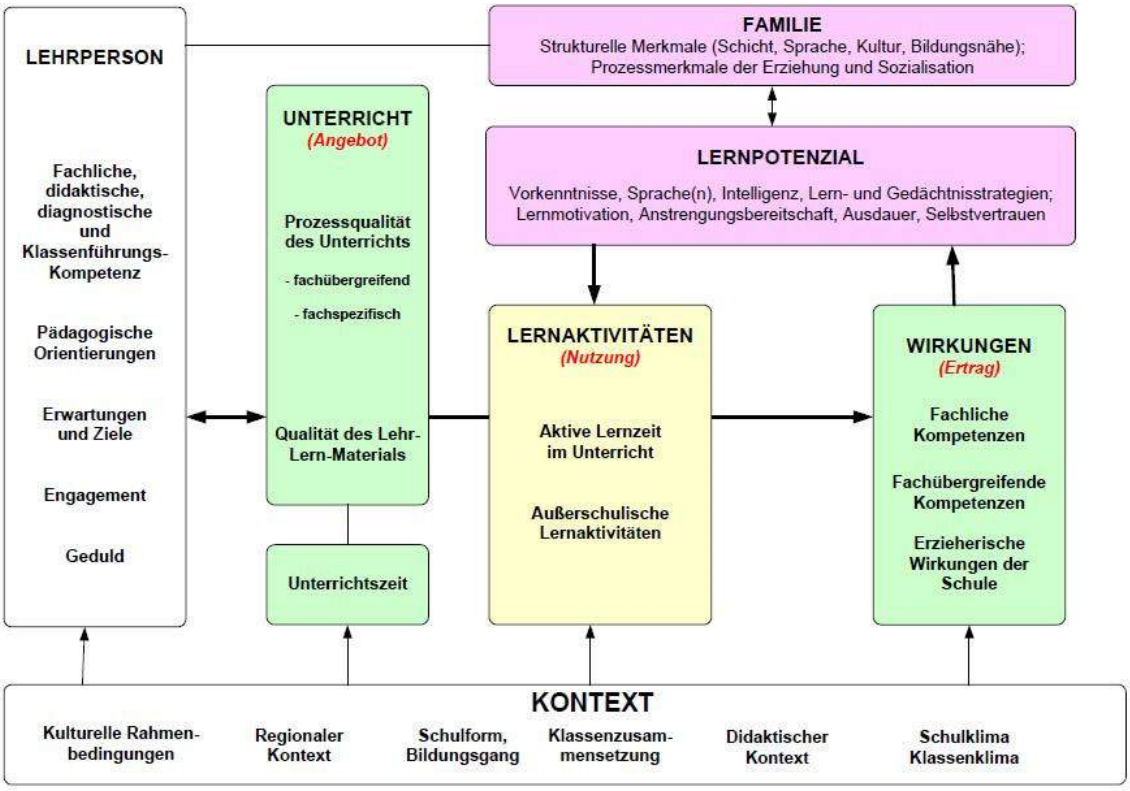


Abbildung 2-1: Angebots-Nutzungs-Modell (Helmke, 2007, S. 2)

Unterricht stellt in der zugrundeliegenden konstruktivistischen Sicht des Lernens nur ein Angebot dar, welches im Idealfall, aber nicht zwangsläufig zu den erwünschten Wirkungen führt (Helmke, 2009). Inwiefern das Angebot Lernaktivitäten auf Seiten der Schülerinnen und Schüler anregt, hängt von der Wahrnehmung und Interpretation des Unterrichts durch die Schülerinnen und Schüler und den dabei ablaufenden Mediationsprozessen ab (Helmke, 2009). Dementsprechend hat die Prozessqualität und die Qualität des Lehr-Lern-Materials einen erheblichen Einfluss auf die Lernaktivitäten der Schülerinnen und Schüler. Die Qualität des Angebots wiederum hängt einerseits von der Lehrperson selbst und ihren Persönlichkeitsmerkmalen ab. Andererseits ist der geplante Unterricht immer in einem bestimmten Kontext eingebettet, welcher Auswirkungen auf die tatsächliche Unterrichtszeit, die Umsetzung des Angebots im Unterricht und die stattfindenden Lernaktivitäten der Schülerinnen und Schüler hat. Vor allem das Lernpotenzial der Lernenden (Vorkenntnisse, Lernmotivation etc.) hat einen erheblichen Einfluss auf die tatsächliche Nutzung und damit auf die eigentliche Wirkung des Lernangebots. Unterrichtliche Lehr-Lern-Prozesse laufen also immer in einem engen Bedingungsnetz ab, welches es bereits bei der Planung von Lerngelegenheiten zu berücksichtigen und antizipieren gilt. Auf der Suche nach erfolgreichen Lehrpersonen und den damit in Zusammenhang stehenden Kompetenzen „im Sinne eines kohärenten Ensembles von Wissen und Können,

das in einer Person vereinigt ist“ (Bromme, 1997, S. 187), rückte mit dem Experten-Paradigma das professionelle Wissen und Können von Lehrkräften in den Fokus der Lehr-Lernforschung (Helmke, 2009). Das Wissen und Können von Lehrkräften, Lerngelegenheiten zu gestalten, stellt eine bedeutsame Kompetenz von Lehrkräften dar und wird in den weiteren Ausführungen als Planungskompetenz bezeichnet. Nach Weinert sind Kompetenzen „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbunden motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“ (2001, S. 21–22). Diese begriffliche Einordnung ist deshalb bedeutsam, da die Kompetenzen, die im Zusammenhang mit Unterrichtsplanungen stehen, damit als „grundsätzlich lehr- und lernbar“ (König, Buchholtz & Dohmen, 2015, S. 377) definiert werden. Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Seminarkonzept und die zur Evaluation verwendeten Methoden basieren auf der Annahme, dass die Planungskompetenzen der teilnehmenden Studierenden prinzipiell gefördert werden können. Die Auffassung der Unterrichtsplanung als Kompetenz ermöglicht zudem die Einordnung der Planungskompetenz in etablierte didaktische Modelle zur professionellen Handlungskompetenz von Lehrkräften.

2.1.2 Planungskompetenz als Teil der professionellen Handlungskompetenz

Das Planungshandeln macht „die Ausdifferenzierung, Integration und Transformation verschiedener Bereiche professionellen Wissens“ (Seel, 2011, S. 31) von Lehrkräften erforderlich. Aus diesem Grund werden an dieser Stelle zunächst wichtige Aspekte professionellen Wissens von Lehrkräften aufgezeigt und zur Planungskompetenz in Beziehung gesetzt.

Eine wichtige Konzeptualisierung der Wissensbasis von Lehrkräften liefert Shulman (1986, 1987), in der er neben anderen Wissensfacetten – z. B. Wissen über Schülervoraussetzungen und über das Curriculum – das Fachwissen („content knowledge“ = CK), das allgemeine pädagogische Wissen („general pedagogical knowledge“ = PK) sowie das fachdidaktische Wissen („pedagogical content knowledge“ = PCK) als bedeutsames Wissen von Lehrkräften nennt. Das pädagogische Wissen wird dabei als das fächerübergreifende Wissen über Prinzipien und Strategien der Klassenführung und -organisation beschrieben. Shulman (1987) führt den Begriff des fachdidaktischen Wissens als besondere, speziell zum Lehrberuf gehörende Wissenskomponente ein, welche aus der Integration von Fachwissen und dem pädagogischen Wissen entsteht. Außerdem fasst er darunter das Wissen über themenspezifische Präkonzepte und Schülerkognitionen sowie über erfolgsversprechende Strategien, bestimmten Fehlkonzepten zu begegnen (Shulman, 1986). Eine direkte Verortung der Planungskompetenz findet nicht statt. In seinen Ausführungen hebt Shulman aber die Bedeutung des *Pedagogical Reasoning* hervor. Speziell Transformationsprozesse, welche vom eigenen Verstehen der Inhalte über deren Aufbereitung bis hin zu einem konkreten Plan verlaufen, sind für den Unterricht und dessen Planung bedeutsam (Shulman, 1987). Für *Pedagogical Reasoning and Action* spielen da-

bei gewissermaßen alle Bereiche des Wissens und Könnens, vor allem aber das fachdidaktische Wissen als Zusammenspiel des Fachwissens und des pädagogischen Wissens, eine wichtige Rolle (Park & Oliver, 2008).

Shulmans Verständnis des professionellen Wissens von Lehrkräften setzte sich weitgehend durch (Baumert & Kunter, 2006), sodass sich auch in jüngeren Arbeiten häufig auf seine Topologie berufen wird. Einen wichtigen Beitrag liefern beispielsweise Baumert und Kunter (2006), welche die professionelle Handlungskompetenz von Lehrkräften in ihrem Modell in die gleichwertigen Einzelkomponenten: Motivationale Orientierungen, selbstregulative Fähigkeiten, Überzeugungen / Werthaltungen sowie Professionswissen teilen (Grabosch, 2020). Die in Abbildung 2-2 dargestellten Überlappungen machen deutlich, dass diese Einzelkomponenten nicht als unabhängige Konstrukte zu verstehen sind. Beispielsweise sehen Rabe, Meinhardt und Krey (2012) die Selbstwirksamkeitserwartung in physikdidaktischen Handlungsfeldern in der Schnittmenge zwischen fachdidaktischem Professionswissen und den motivationalen Orientierungen.

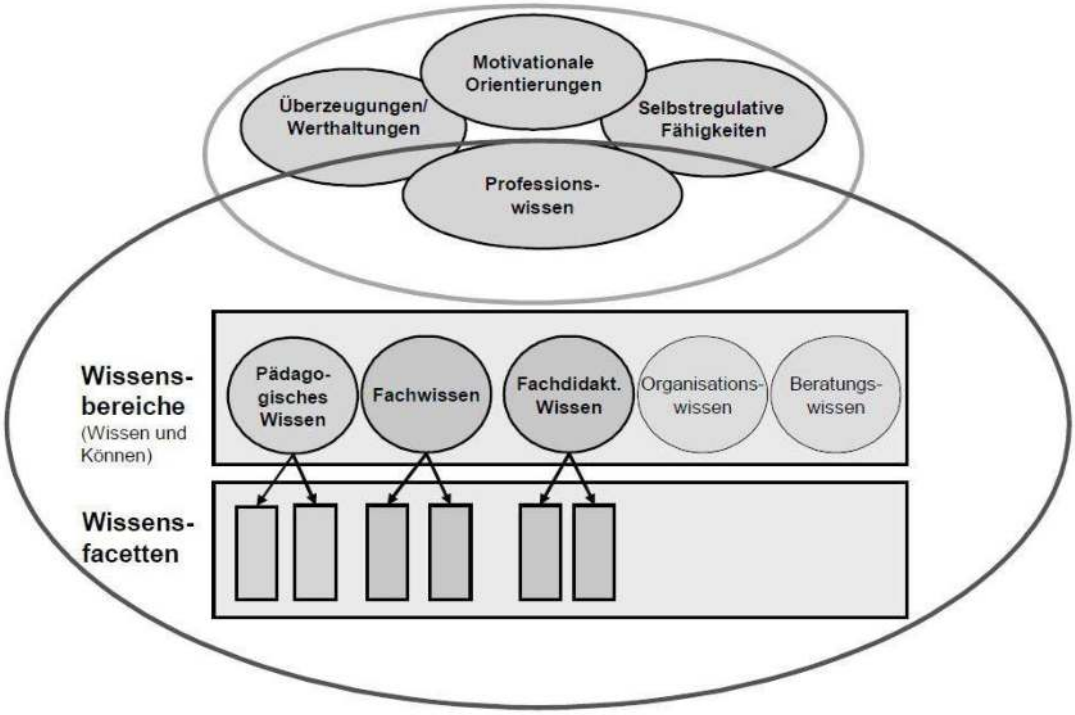


Abbildung 2-2: Modell zur Professionellen Handlungskompetenz von Lehrkräften (Baumert & Kunter, 2006, S. 482)

Das Professionswissen teilen Baumert und Kunter (2006) in die Wissensbereiche Fachwissen, pädagogisches Wissen und fachdidaktisches Wissen ein und erweitern diese um das Organisations- und Beratungswissen (Abbildung 2-2). Das Wissen und Können setzt sich dabei aus verschiedenen Wissensarten zusammen: dem deklarativen, dem prozeduralen und dem strategischen Wissen (Baumert & Kunter, 2006). Tepner et al. (2012) übernehmen die gängige Kategorisierung des Professionswissen in das deklarative und das prozedurale Wissen und erweitern diese in Anlehnung an Paris, Lipson und Wixson (1983) um das konditionale Wissen. Das deklarative Wissen umfasst das Wissen über Fakten und Begriffe, während das prozedurale Wissen Kenntnisse darüber, wie Handlungen und Prozesse ablaufen, beinhaltet (Tepner et al., 2012). Das konditionale Wissen

meint das Wissen über „Bedingungen, unter denen eine Entscheidung bzw. eine Handlung angemessen ist“ (Tepner et al., 2012, S. 17). Das konditionale Wissen ist gerade deshalb im Kontext der Unterrichtsplanung erwähnenswert, da es u. a. das Wissen umfasst, welches bei der Planung und Begründung von Prozessen und Handlungen zum Tragen kommt (Tepner et al., 2012).

Das allgemeine pädagogische Wissen setzt sich im Modell der professionellen Handlungskompetenz aus dem konzeptuellen bildungswissenschaftlichen Grundlagenwissen (1), dem allgemeindidaktischen Konzeption- und Planungswissen (2), der Unterrichtsführung und Orchestrierung von Lerngelegenheiten (3) und fachübergreifenden Prinzipien des Diagnostizierens, Prüfens und Bewertens (4) zusammen (Baumert & Kunter, 2006). Der zweite Aspekt beinhaltet metatheoretische Modelle der Unterrichtsplanung, fachübergreifende Prinzipien der Unterrichtsplanung sowie Unterrichtsmethoden im weiten Sinne. Andere Autor*innen verstehen unter dem pädagogischen Wissen die „Kenntnisse über das Lernen und Lehren, die sich auf die Gestaltung von Unterrichtssituationen beziehen und die fachunabhängig, das heißt auf verschiedene Fächer und Bildungsbereiche anzuwenden sind“ (Voss, Kunina-Habenicht, Hoehne & Kunter, 2015, S. 187). Das Wissen und Können Unterricht zu gestalten (Planungskompetenz) ist dieser Auffassung nach – zumindest teilweise – eine allgemeindidaktische Kompetenz.

Da das Schulfach den eigentlichen Handlungsrahmen von Lehrkräften darstellt (Baumert & Kunter, 2006), muss auch im Hinblick auf die Planungskompetenz immer das fachbezogene Wissen, also das Fachwissen und das fachdidaktische Wissen von Lehrkräften in den Blick genommen werden. Das Fachwissen von Lehrkräften umfasst nach Shulman (1986) nicht nur das reine Faktenwissen, sondern auch vertieftes Hintergrundwissen, zum Beispiel über den fachlogischen Ursprung der Fakten oder darüber welche Themen sich als besonders zentral für die jeweilige Disziplin herausstellen. Für das Fach Mathematik versuchten Krauss, Neubrand et al. (2008) diese grundlegende Konzeptualisierung auszudifferenzieren und schlugen dafür folgende vier Ebenen vor: mathematisches Alltagswissen, über das grundsätzlich alle Erwachsene verfügen sollten (1), die Beherrschung des Schulstoffs so wie es von durchschnittlichen bis guten Schülerinnen und Schülern der jeweiligen Klassenstufe erwartet wird (2), ein tieferes Verständnis der Fachinhalte des Curriculums der Sekundarstufe (3) sowie reines Universitätswissen, das vom Curriculum der Schule losgelöst ist (4). Nicht nur während des Unterrichts, auch bei der Unterrichtsgestaltung ist Fachwissen erforderlich. Das Fachwissen scheint eine notwendige, wenn auch nicht hinreichende Bedingung für qualitätsvollen Unterricht darzustellen (Baumert & Kunter, 2006). Gleichzeitig wird das Fachwissen einer Lehrkraft als Voraussetzung für das fachdidaktische Wissen gesehen, denn „Fachwissen ist die Grundlage, auf der fachdidaktische Beweglichkeit entstehen kann“ (Baumert & Kunter, 2006, S. 496).

Das fachdidaktische Wissen nimmt seit Shulmans Prägung des Begriffs eine besondere Rolle in der Lehr-Lern-Forschung ein. Mag es zu Beginn noch einer genaueren Ausdifferenzierung bedurft haben (Bromme, 1995), so gibt es mittlerweile viele Arbeiten, welche eine detailliertere Modellierung des fachdidaktischen Wissens u. a. zum Zwecke der

Erfassung des Konstrukts vorgenommen haben. Einen Überblick über die bisher angestellten Bemühungen zur Konzeptualisierung des fachdidaktischen Wissens in Bezug auf naturwissenschaftlichen Unterricht bieten beispielsweise Park und Oliver (2008), Schmelzing (2010) und Tardent Kuster (2019) (siehe Tabelle 2-1). Auch wenn solche Übersichtstabellen die Gefahr bergen, dass Missverständnisse hinsichtlich einzelner Konzeptualisierungen entstehen (Gramzow, Riese & Reinhold, 2013), bieten sie dennoch die Möglichkeit, ein Bild über die Vielfältigkeit der Modellierungen des PCK zu gewinnen. Obwohl die verschiedenen Autoren das fachdidaktische Wissen jeweils unterschiedlich weit zu fassen scheinen, gibt es einen weitgehenden Konsens darüber, dass das Wissen über die Schülerinnen und Schüler und deren Kognitionen sowie fachspezifische Instruktions- und Vermittlungsstrategien wichtige Bestandteile des fachdidaktischen Wissens sind. Im deutschsprachigen Raum wurde das PCK von Mathematik-Lehrkräften im Rahmen der COACTIV-Studie beispielsweise in die Facetten Wissen über das Verständlichmachen von mathematischen Inhalten (1), Wissen über mathematikbezogene Schülerkognitionen (2) und Wissen über das kognitive Potential von Mathematikaufgaben (3) (Krauss, Neubrand et al., 2008, S. 234) eingeteilt. Für die naturwissenschaftlichen Fächer fand im Rahmen der Studie Professionswissen in den Naturwissenschaften (ProwiN) ebenfalls eine konkrete Ausdifferenzierung des fachdidaktischen Wissens zum Zwecke der Testkonstruktion statt (S. Kirschner et al., 2017). Das entwickelte dreidimensionale Modell zur Konstruktion der Testitems umfasst die Dimensionen Wissensarten (deklaratives, prozedurales und konditionales Wissen), Inhaltsbereiche (verwendete Themen zur Item-Konstruktion) und PCK-Facetten (Tepner et al., 2012). In Anlehnung an die COACTIV-Studie definieren die Autoren das PCK als das Wissen über Schülerkognitionen und über instruktionale Strategien. Um die Besonderheiten der Naturwissenschaften zu berücksichtigen, wird das Wissen über instruktionale Strategien als das Wissen über den Einsatz von Modellen und über die Planung und Durchführung von Experimenten operationalisiert (Tepner et al., 2012).

Tabelle 2-1: Übersicht zu den Konzeptualisierung von PCK in verschiedenen Arbeiten (Tardent Kuster, 2019, S. 62)

Autoren	Art der Studie	Facetten von fachdidaktischem Wissen / PCK							
		Fachinhalt	Pädagogik	Kontext	Schülerverständnis	Instruktions-strategien	Curriculum	Ziel des gelehrten Fachinhalts	Leistungserfassung & -bewertung
Kirschner et al. (2016) (**ProwiN)**	m	-	-	-	O	O	-	-	-
Jüttner et al. (2013) (**Pro-wiN)**	m	-	-	-	O	O	-	-	-
Tepner et al. (2012) (**Pro-wiN)**	m	-	-	-	O	O	-	-	-
Grossschedl et al. (2015) (**KiL)**	m	-	-	-	O	O	O	-	O
Schmelzing et al. (2013)	m	-	-	-	O	O	-	-	-
Gramzow (2015) (**ProfiL-P)**	m	-	-	(O)	O	O	(O)	(O)	(O)
Riese (2009)	m	-	-	-	O	O	O	O	O
Brovelli et al. (2013)	m	-	-	-	O	O	-	-	-
Kotzebue L. & Nerdel C. (2015)	m	-	-	-	O	O	-	-	-
Stender, Brückmann, Neumann (2017)	m	-	-	-	O	O	O	-	O
Smith & Banilower (2015)	m	-	-	-	O	O	-	-	O
Ergönenç et al. (2014) (**QuIP**)	m	-	-	-	O	O	O	-	-
Gess-Newsome et al. (2017)	b	O	O	O	O	O	-	-	-
Alonzo & Kim (2016)	b	-	-	-	O	O	-	-	-
Brown et al. (2013)	b	-	-	-	O	O	-	O	-
Park & Suh (2015)	b	-	-	-	O	O	O	O	O
Loughran et al. (2012)	b	O	O	O	O	O	-	O	-
van Djik & Kattmann (2010)	b	O	-	-	O	O	-	-	-

Park & Oliver (2008)	b	-	-	-	O	O	O	O	O
Hashweh (2005)	b	O	O	O	O	O	O	O	O
van der Valk & Broekman (1999)	b	-	-	-	O	O	-	-	-
Magnusson et al. (1999)	b	-	-	-	O	O	O	O	O
van Driel et al. (1998)	b	-	-	-	O	O	-	-	-
Fernandez-Balbao & Stiehl (1995)	b	O	-	O	O	O	-	O	-
Tamir (1988)	b	-	-	-	O	O	O	-	O
Shulman (1987)	b	-	-	-	O	O	-	-	-

Legende: m = Messung; b = Beobachtung; O = Facette in FDW bzw. PCK explizit eingebunden; - = Facette in FDW bzw. PCK nicht eingebunden; (O) = Facette im Modell enthalten, aber nicht im Messinstrument

Nach Riese (2009) setzt sich das physikdidaktische Wissen aus den Facetten Allgemeine Aspekte physikalischer Lernprozesse (1), Einsatz von Experimenten (2), Gestaltung und Planung von Lernprozessen (3), Beurteilung, Analyse und Reflexion von Lernprozessen (4) und Adäquate Reaktion in kritischen Unterrichtssituationen (5).

In gleicher Weise zählen Gramzow et al. (2013) das Wissen über Experimente als eine von acht Facetten physikdidaktischen Wissens. Unter Rückbezug auf Korneck, Lamprecht, Wodzinski und Schecker (2010) und Riese (2009) führen sie dafür folgende Teilkompetenzen auf (Gramzow et al., 2013, S. 23):

- Wissen über Arten, Funktionen und die Bedeutung von Experimenten
- Wissen über das Vorgehen beim Experimentieren in der Unterrichtssituation
- Wissen über Mess- und Auswerteverfahren, Arbeitsweisen, Reflexion und Bewertungskriterien speziell von Experimenten in der Schule
- das Wissen um verschiedene experimentelle Zugänge und didaktisch adäquates Anordnen von Experimenten
- das Wissen über Auswahl von Experimenten für die Schule, deren kognitive Anforderungen und Potentiale
- das Wissen über den lernwirksamen Einsatz von Experimenten
- das Wissen über typische Schülerfehler und Schwierigkeiten in der Handhabung von Experimenten
- das Wissen über den Umgang mit unerwünschten Experimentierergebnissen
- das Wissen über die Differenzierungsmöglichkeiten anhand von Experimenten

Die Bedeutung dieser Facetten für die Gestaltung experimentellen Unterrichts wird unmittelbar deutlich. In der Konzeptualisierung von Riese (2009) wird darüber hinaus ein konkreter Bezug zur Planung, Durchführung und Reflexion von Lerngelegenheiten als konkreter Aspekt fachdidaktischen Wissens hergestellt. Die Gestaltung und Planung von Lernprozessen aus fachdidaktischer Sicht wird dort folgendermaßen operationalisiert (Riese, 2009, S. 83):

- Inhalte auswählen, wissenschaftliche Fragestellungen und Sachverhalte hinsichtlich ihrer didaktischen und curricularen Relevanz einordnen;
- Durchführung didaktischer Rekonstruktion, Inhalte sach-, adressaten- und zielgerecht erklären können, Elementarisierungen vornehmen können, Schülerorientierung;
- Ermöglichung des kumulativen Lernens und der inhaltlichen Vernetzung, fachlich konsistentes Vorgehen, Verdeutlichung der Sinnhaftigkeit des Vorgehens;
- Schaffung kognitiv anregender, motivierender, verständlicher Lernumgebungen und Arbeitsmaterialien, Erzeugung einer situationsangemessenen Struktur von Inhalten und Aktivitäten, Nutzung geeigneter Arbeitsformen;
- Planung des Vorgehens beim Experimentieren im Physikunterricht, Planen möglicher Handlungsalternativen, sinnvolle Einbettung von Experimenten in den Unterrichtsablauf, Zeitplanung;

Obwohl sich hier auch einige allgemein pädagogische Kompetenzen vermuten lassen (z. B. Zeitplanung, Schülerorientierung), wird der konkrete Sachbezug, welcher mit der Planung von Lerngelegenheiten einhergeht, verdeutlicht. Fachdidaktisches Wissen und Können sind demnach eng mit Planung und Gestaltung von Lerngelegenheiten verbunden. Generell gilt also, dass aufgrund des fachlichen Handlungsspielraums zur Planung von Unterricht – insbesondere experimentellen Unterrichts – immer auch Fachwissen sowie fachdidaktisches Wissen nötig sind. In der Gestaltung von Fachunterricht und von Experimentierumgebungen manifestiert sich das Wissen über Experimente und Vermittlungsstrategien im Allgemeinen. Dementsprechend spielen neben dem pädagogischen Wissen auch Fachwissen und fachdidaktisches Wissen, „mediiert über die Merkmale der Unterrichtsgestaltung“ (Baumert & Kunter, 2006, S. 496), eine bedeutsame Rolle für die Leistungsentwicklung der Schülerinnen und Schüler.

Während Shulman (1986, 1987) noch ein integratives Modell beschreibt, in dem er fachdidaktisches Wissen „als Kreuzung von Fachwissen, pädagogischem Wissen und kontextuellem Wissen darstellt“ (Tepner et al., 2012, S. 13), gehen u. a. Baumert und Kunter (2006) davon aus, dass es sich beim fachdidaktischen Wissen um eine eigenständige jedoch stark mit dem Fachwissen und dem allgemein pädagogischen Wissen in Zusammenhang stehende Komponente handelt (Transformatives Modell). Im Fach Mathematik können einige Studien die postulierte Mehrdimensionalität des Professionswissens für bestimmte Themen (Agathangelou & Charalambous, 2020) sowie für bestimmte Schularten (Blömeke, Houang & Suhl, 2011; Krauss, Brunner et al., 2008) belegen. Für

die Naturwissenschaftlichen Fächer liefert die ProwiN-Studie Einblicke in den Zusammenhang der Professionswissensbereiche (S. Kirschner et al., 2017): Auch in den Fächern Biologie, Chemie und Physik korrelieren das Fachwissen und das fachdidaktische Wissen im Rahmen der untersuchten Themen signifikant. Das fachdidaktische Wissen korreliert zudem mit den verwendeten Skalen zum pädagogischen Wissen, welches selbst nur wenig bzw. nicht signifikant mit dem Fachwissen korreliert.

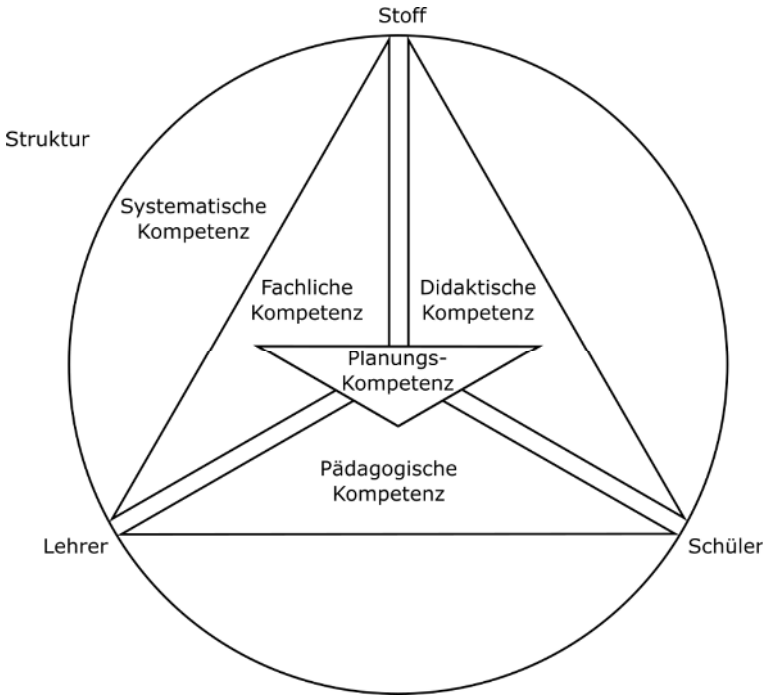


Abbildung 2-3: Verortung der Planungskompetenz im didaktischen Dreieck (Wernke & Zierer, 2017, S. 11)

In den bisherigen Ausführungen wurde ausschließlich die Bedeutung des Professionswissens für die Planungskompetenz thematisiert. Neben dem Professionswissen stellen auch die Überzeugungen und Werthaltungen, die Motivation und die selbstregulativen Fähigkeiten der Lehrkräfte wichtige Dispositionen für das professionelle Planungshandeln von Lehrkräften dar (Stender, 2014; Wernke & Zierer, 2017).

Überzeugungen werden als „überdauernde existentielle Annahmen über Phänomene oder Objekte der Welt, die subjektiv für wahr gehalten werden, sowohl implizite als auch explizite Anteile besitzen und die Art der Begegnung mit der Welt beeinflussen“ (Voss, Kleickmann, Kunter & Hachfeld, 2011, S. 235) verstanden. Sie können in epistemologische Überzeugungen und subjektive Theorien über das Lehren und Lernen unterteilt werden (Stender, 2014). Bei epistemologischen Überzeugungen handelt es sich um die Vorstellungen, die eine Lehrkraft über das Wissen und dessen Genese in ihrer Fachdisziplin hat (Lamprecht, 2011). In naturwissenschaftlichen Fächern nimmt hier u. a. die experimentelle Erkenntnisgewinnung (vgl. Kapitel 2.2) eine bedeutsame Rolle ein. Epistemologische Überzeugungen werden dabei häufig in zwei kontrastierte Orientierungen eingeteilt (Lamprecht, 2011; Stender, 2014). Das empiristische Wissenschaftsverständnis geht auf der einen Seite vom Aufdecken einer objektiven Realität und daraus resultierenden unfehlbarem Wissen aus. Die konstruktivistische Sicht geht im Gegensatz dazu von

der Vorläufigkeit und Weiterentwicklung von Wissen aus (Seidel, Schwindt, Rimmele & Prenzel, 2008). Gerade bei der Planung experimenteller Lernumgebungen hat die epistemologische Überzeugung einen Einfluss, da Lehrkräfte mit einem empiristischen Wissenschaftsverständnis eher die Vermittlung von Wissen und Prozeduren anstreben, während Lehrkräfte mit konstruktivistischem Wissenschaftsverständnis den Schülerinnen und Schülern eine aktivere Rolle bei der Gewinnung von Erkenntnissen und in Problemlöseprozessen zugestehen (Lamprecht, 2011; Seidel et al., 2008). Deshalb liegt die Vermutung nahe, dass Lehrkräfte mit konstruktivistischem Wissenschaftsverständnis auch in Experimentiersituationen zu eher forschenden und selbstgesteuerten Varianten tendieren.

Bei den subjektiven Theorien über das Lehren und Lernen wird häufig zwischen einem konstruktivistischen und einem transmissiven Ansatz differenziert (Stender, 2014). Die konstruktivistische Orientierung geht davon aus, dass Lernen ein aktiver Prozess ist, der sich in der subjektiven Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand vollzieht (Voss et al., 2011). Die transmissive Sichtweise sieht Lernende dagegen als passive Rezipienten des vermittelten Wissens (Lamprecht, 2011). Untersuchungen beispielsweise im Rahmen der COACTIV-Studie zeigen für das Fach Mathematik, dass Lehrkräfte mit dem konstruktivistische Ansatz, in dem Lernen als aktiver Prozess betrachtet wird, eher kognitiv aktivierenden Unterricht gestalten als Lehrkräfte, welche eine eher transmissive Überzeugung vom Lehren und Lernen haben (Kunter & Baumert, 2011). Seidel et al. (2008) konnten überdies einen korrelativen Zusammenhang zwischen dem konstruktivistischen Wissenschaftsverständnis und den konstruktivistischen Überzeugungen vom Lehren und Lernen einerseits und dem empiristischen Wissenschaftsverständnis und den transmissiven Überzeugungen vom Lehren und Lernen andererseits feststellen.

Auch motivationale Orientierungen gelten als wichtige Einflussfaktoren für das professionelle Handeln von Lehrkräften. Baumert und Kunter (2006) unterteilen die motivationalen Orientierungen in ihrem Modell in Kontrollüberzeugungen und Selbstwirksamkeitserwartung (SWE) einerseits und Lehrerenthusiasmus andererseits. Ausgehend von Albert Banduras Definition wird unter Selbstwirksamkeitserwartung die „subjektive Gewissheit, über die Fähigkeiten und Mittel zu verfügen, um neue und auch schwierige Ziele zu erreichen“ (Lamprecht, 2011, S. 17), verstanden. Es handelt sich um eine kontext- und domänenspezifische Eigenschaft, welche auch die Selbsteinschätzung über den Grad der Ausprägung bestimmter Kompetenzen einschließt (Rabe et al., 2012). Studien zeigen, dass die allgemeine SWE von Lehrkräften einen positiven Einfluss auf die Vorbereitung und Durchführung von Unterricht sowie auf den Wissenserwerb, die Motivation und die SWE der Schülerinnen und Schüler hat (Rabe et al., 2012; Tschannen-Moran, Woolfolk Hoy & Hoy, 1998). So setzen Lehrkräfte mit hoher SWE effektivere Unterrichtsmethoden ein und können eine höhere Qualität ihres Unterrichts sicherstellen (Kunter, 2011). Außerdem hat die SWE einen Einfluss auf das berufliche Engagement und die Zufriedenheit mit dem Beruf (Baumert & Kunter, 2006). Aufgrund der Kontext- und Domänenspezifität sollte die SWE dabei aber auf einem angemessenen Abstraktionsniveau – das heißt bezogen auf konkrete Aufgaben und Tätigkeiten – erhoben werden (Rabe et al., 2012).

Das Konstrukt Enthusiasmus zählt speziell in der Lehr-Lern-Forschung als intrinsisches motivationales Merkmal von Lehrkräften (Kunter, 2011). Die intrinsische Motivation bzw. der Enthusiasmus von Lehrkräften hat dabei einen positiven Einfluss auf das fachliche Interesse der Schülerinnen und Schüler (Frenzel, Goetz, Lüdtke, Pekrun & Sutton, 2009). Ob der Enthusiasmus einer Lehrkraft auch einen Einfluss auf die Fachleistungen der Schülerinnen und Schüler hat, wurde u. a. anhand er COACTIV-Daten untersucht (Kunter, 2011). Dabei wurde der Enthusiasmus in den Fachenthusiasmus und den Unterrichtsenthusiasmus differenziert. Die Ergebnisse legen nahe, dass ein hoher Unterrichtsenthusiasmus, nicht aber Fachenthusiasmus, einen positiven Effekt sowohl auf die Motivation als auch auf die Leistungen der Schülerinnen und Schüler hat (Kunter, 2011). Gleichermaßen korreliert der Enthusiasmus für das Unterrichten mit Unterrichtsqualitätsmerkmalen wie der Klassenführung, der kognitiven Aktivierung und der Unterstützung (Kunter, 2011). Es lässt sich demnach vermuten, dass der Enthusiasmus einer Lehrkraft bereits bei der Planung des Unterrichts eine implizite aber bedeutsame Rolle spielt.

Ein weiterer Bereich der professionellen Handlungskompetenz von Lehrkräften sind die selbstregulativen Fähigkeiten. Die Selbstregulation von Lehrkräften kann als die Fähigkeit aufgefasst werden, „im beruflichen Kontext effektiv mit den eigenen Ressourcen haushalten zu können“ (Klusmann, 2011, S. 277). Es handelt sich dabei um einen fachunspezifischen Aspekt der professionellen Handlungskompetenz, welcher vermutlich mit den Kognitionen, der Motivation und den Emotionen von Lehrkräften im Zusammenhang steht (Klusmann, 2011). Lehrkräfte mit hoher Selbstregulation weisen eine hohe Ausprägung an beruflichem Engagement bei gleichzeitig hoher Widerstandfähigkeit (Distanzierungsfähigkeit und Umgang mit Misserfolgen) auf (Klusmann, 2011). Die zunächst von Schaarschmidt (1999) identifizierten Typen Risikotyp A, Risikotyp B, Schontyp und Gesundheitstyp konnten von Klusmann (2006) bestätigt werden (Baumert & Kunter, 2006). Dabei schneidet der Gesundheitstyp (hohe Widerstandsfähigkeit und hohes berufliches Engagement) hinsichtlich der von den Schülerinnen und Schülern wahrgenommenen adaptiven Unterrichtsqualitätsmerkmale besser ab als der Risikotyp B (geringe Widerstandsfähigkeit und geringes berufliches Engagement) (Klusmann, 2006). Die selbstregulativen Fähigkeiten scheinen also einen Einfluss auf das Unterrichtsverhalten und das berufliche Wohlbefinden auch unter statistischer Kontrolle anderer Kompetenzaspekte zu haben (Klusmann, 2011).

Es existieren diverse Studien, die belegen, dass auch Motivation, Überzeugungen und selbstregulative Fähigkeiten einer Lehrkraft einen Einfluss auf die Unterrichtsqualität haben. Damit können auch diese Konstrukte im Zusammenhang mit der Qualität von Unterrichtsplanungen stehen. In ihrem schematischen Kompetenzmodell zur Planungskompetenz gehen König et al. (2017) davon aus, dass neben dem Fachwissen, dem fachdidaktischen und dem pädagogischen Wissen auch affektiv-motivationale Merkmale der Lehrkraft eine wichtige Rolle für die Planungskompetenz spielen. Diesen Gedanken verfolgt auch Stender (2014) mit ihrem Transformationsmodell der Unterrichtsplanung (siehe Abbildung 2-4). Die Autorin erklärt Schwierigkeiten, die angehende Lehrpersonen bei der Anwendung des an der Universität erworbenen deklarativen Wissens in konkreten Unter-

richtssituationen haben, damit, dass eben dieses Wissen noch nicht in anwendbares prozedurales Wissen überführt wurde (Stender, Brückmann & Neumann, 2015). Die notwendigen Transformationsprozesse des deklarativen Professionswissens in Handlungsskripte werden durch die Entwicklung von Handlungsplänen bei der Unterrichtsplanung angestoßen. Die Unterrichtsplanung wird in diesem Modell deshalb als Katalysator der Transformationsprozesse betrachtet (Stender et al., 2015). Das Transformationsmodell der Unterrichtsplanung geht davon aus, dass die ablaufenden kognitiven Prozesse bei der Unterrichtsplanung von den Überzeugungen und Werthaltungen, der Motivation und den selbstregulativen Fähigkeiten der Lehrkraft mitbestimmt werden (Stender et al., 2015). Diese zunächst postulierten Wirkzusammenhänge konnten bereits mehrfach empirisch bestätigt werden (Stender, 2014; Stender, Brückmann & Neumann, 2017).

Abbildung 2-4: Transformationsmodell der Unterrichtsplanung (Stender, 2014, S. 38)

Fazit

Die Planung von Unterricht, dessen Durchführung und Reflexion vollziehen sich in der Anwendung vorhandenen Wissens und Könnens, welche in nicht unerheblichem Maße durch die eigenen Überzeugungen, motivationalen Orientierungen und selbstregulativen Fähigkeiten unterbewusst gesteuert wird. An dieser Stelle wird deshalb konstatiert, dass neben dem Professionswissen auch die anderen Komponenten im Modell der professionellen Handlungskompetenz von Baumert und Kunter (2006) einen empirisch nachweisbaren Einfluss auf die Planungskompetenz von (angehenden) Lehrkräften besitzen. Es wurde ferner herausgearbeitet, dass die Planungskompetenz in einer transformativen Sichtweise in der Schnittmenge der verschiedenen Wissensdimensionen verortet werden kann, da sowohl Fachwissen, fachdidaktisches Wissen als auch pädagogisches Wissen für Planungsprozesse unabdingbar scheinen. Auch wenn viele Gemeinsamkeiten existieren, so unterscheiden sich die verschiedenen Konzeptualisierungen dieser Wissensbereiche – speziell die des fachdidaktischen Wissens – merkbar (Chan & Hume, 2019). Dies macht eine eindeutige Verortung der Planungskompetenz in den bisher beschriebenen

Modellen schwierig, weshalb im Folgenden ein kurzer Blick auf das in den letzten Jahren entwickelte Konsensmodell zum Professionswissen von Lehrkräften geworfen werden soll.

Planungskompetenz im Refined Consensus Model of PCK

Die Vielfältigkeit der Konzeptualisierungen des Wissens von Lehrkräften der Naturwissenschaften (für das fachdidaktische Wissen vgl. Tabelle 2-1) und die damit einhergehende Uneinigkeit, was genau unter dem Professionswissen verstanden werden kann, führte dazu, dass sich Forscher*innen um die Entwicklung eines neuen und konsensfähigen Modells zum Professionswissen bemühten (A. Berry, Friedrichsen & Loughran, 2015; Carlson & Daehler, 2019; Stender et al., 2017). In diesem Rahmen wurde das *Refined Conensus Model (RCM)* of PCK entwickelt (Abbildung 2-5):

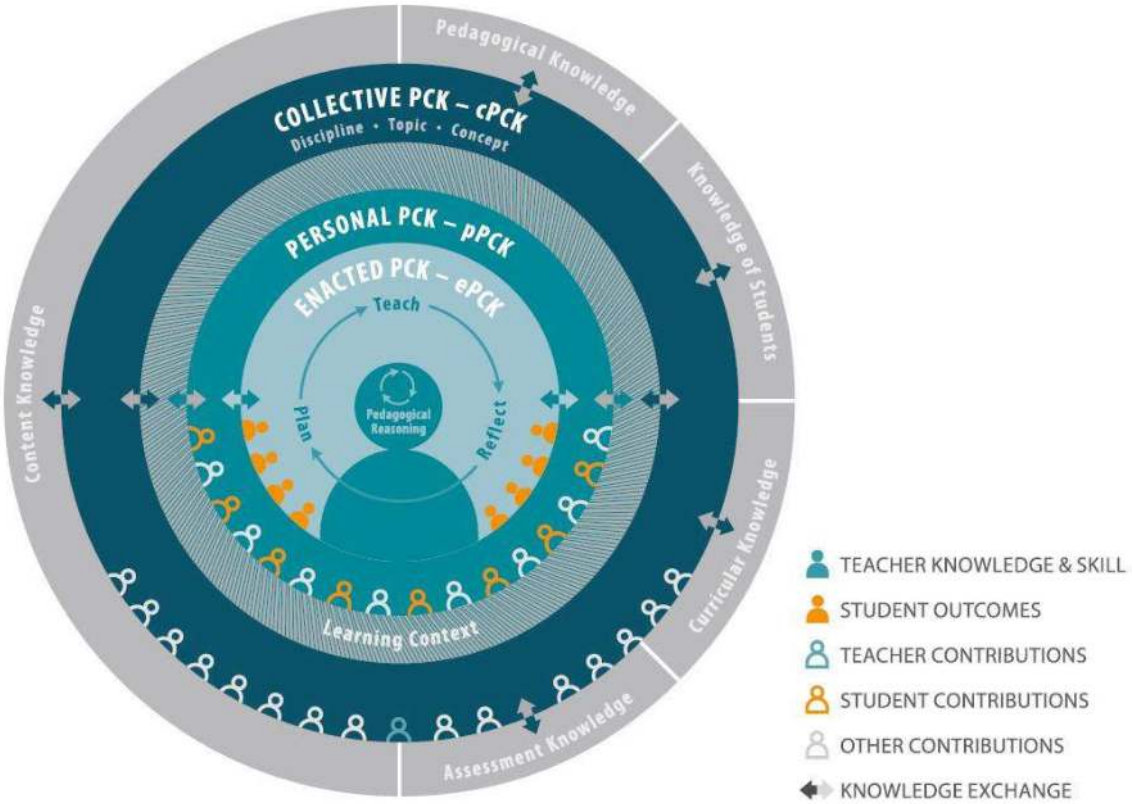


Abbildung 2-5: Refined Consensus Model of PCK (Carlson & Daehler, 2019, S. 83)

Das Modell wurde u. a. dafür entwickelt, um zu visualisieren, wo Forschungsstudien zur Ausbildung von Lehrkräften ansetzen und Programme zur Aus- und Fortbildung von (angehenden) Lehrkräften gestaltet werden können. Aus diesem Grund wurden die Nuancen zwischen verschiedenen Arten von PCK und die Beziehung zwischen diesen Arten sowie zu anderen Arten von Wissen verfeinert und klar artikuliert (Carlson & Daehler, 2019). Das RCM soll nun im Folgenden kurz vorgestellt werden (Carlson & Daehler, 2019):

Das Modell ist konzentrisch aufgebaut, wobei im Zentrum der zirkuläre Prozess des *pedagogical reasoning* zum Zwecke des Planens, Unterrichtens und Reflektierens naturwissenschaftlichen Unterrichts verortet ist. Die verschiedenen Kreise stellen die unterschiedlichen Bereiche der professionellen Kompetenz der Lehrkräfte dar, welche im wechselseitigen Austausch miteinander stehen. Der ständige Fluss zwischen den verschiedenen Bereichen des Wissens und Könnens stellt eine Schlüsselkomponente des RCM dar. Dieser Austausch wird u. a. von den Einstellungen und Überzeugungen der Lehrkraft verstärkt bzw. gefiltert. Sie tragen somit einen wesentlichen Teil zur langfristigen Entwicklung des fachdidaktischen Wissens der jeweiligen Lehrkraft bei.

Ein weiteres Hauptmerkmal dieses Modells ist die Unterteilung des fachdidaktischen Wissens in die drei Teilbereiche *collective PCK (cPCK)*, *personal PCK (pPCK)* und *enacted PCK (ePCK)*. Alle drei Teilbereiche werden dabei als fach-, themen- und konzeptspezifisch beschrieben. Die verschiedenen Wissensbereiche, welche im äußersten Kreis dargestellt werden (z. B. Fachwissen, pädagogisches Wissen), werden als fundamentale Basis für das fachdidaktische Wissen der Lehrkräfte angesehen.
Das *cPCK* wird als jenes fachdidaktische Wissen beschrieben, das als kollektives Wissen verstanden werden kann. Das bedeutet, dass es sich um einen spezialisierten Wissensbereich handelt, welcher von einer beliebigen Gruppe von Fachleuten geteilt wird, artikuliert werden kann und sich auf die Vermittlung speziellen Fachinhalts bezieht. Das pPCK einer Lehrkraft wird als das persönliche kumulative und dynamische fachdidaktische Wissen und Können definiert, welches einerseits die eigenen Lehr- und Lernerfahrungen umfasst und andererseits durch den Austausch mit anderen Personen entsteht. Diese Art des PCK dient als die persönliche Wissensgrundlage, auf die die Lehrkraft dann während der Planung, Durchführung und Reflexion von Unterricht zurückgreifen kann.

Eine Lehrkraft kann aber nicht ihr gesamtes Wissen und Können zu jeder Zeit abrufen und für den Unterricht einsetzen. Basierend auf den früheren Erfahrungen wird sie vielmehr solches Wissen und Können anwenden, welches in der jeweiligen Situation sinnvoll erscheint. Werden bestimmte Aspekte des pPCK abgerufen und für den Unterrichtsprozess genutzt, so wird dieses Wissen und Können zu enacted PCK. Das ePCK stellt damit eine Teilmenge des pPCK einer Lehrkraft dar. Aufgrund des Handlungsbezugs wird das ePCK im Vergleich zum pPCK als noch dynamischer und adaptiver beschrieben (Alonzo, Berry & Nilsson, 2019). Der Einsatz des ePCK vollzieht sich dabei nicht nur während einer konkreten Unterrichtssituation, sondern bereits bei der Planung des spezifischen Lehr-Lern-Prozesses und im Nachgang bei der Reflexion über die konkrete Ausführung und die resultierenden Ergebnisse. Alonzo et al. (2019) sprechen in diesem Zusammenhang davon, dass ePCK in drei Formen existiert: $ePCK_P$ (Planning), $ePCK_T$ (Teaching) und $ePCK_R$ (Reflecting).

Bei der Entwicklung des fachdidaktischen Wissens kommt vor allem der Transformation zwischen diesen beiden Wissensarten eine große Bedeutung zu (Alonzo et al., 2019): Das pPCK stellt, wie schon beschrieben, die Wissensgrundlage für jeden einzelnen Schritt des Unterrichtszyklus (Planung, Durchführung, Reflexion) dar. Aber auch das ePCK kann sowohl in expliziter als auch impliziter Form in das pPCK einer Lehrkraft transformiert werden (siehe Pfeile nach außen in Abbildung 2-6). Dieser Prozess läuft

beispielsweise bei der bewussten Reflexion ab, da die gewonnenen Erfahrungen als Teil des persönlichen Wissens abgespeichert werden. Auf dieses Wissen kann dann wiederum beispielsweise in zukünftigen Planungsprozessen explizit zurückgegriffen werden. Aber auch durch unterbewusste kognitive Prozesse kann das ePCK in pPCK umgewandelt werden. Unabhängig davon, in welcher Form die Transformationsprozesse ablaufen, vollzieht sich die Umwandlung zwischen ePCK und pPCK in den Schritten der Planung, Durchführung und Reflexion von Lehr-Lern-Prozessen.

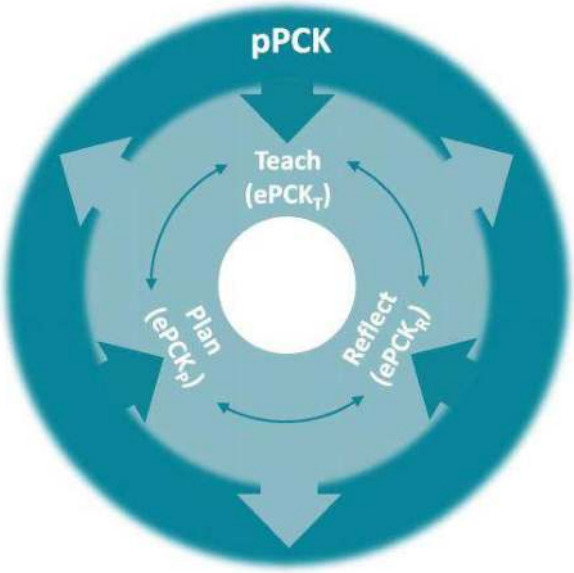


Abbildung 2-6: Zusammenhang zwischen ePCK und pPCK (Alonzo et al., 2019, S. 275)

Carlson und Daehler (2019) heben hervor, dass das ePCK u. a. in der Wahl von Unterrichtsstrategien und Darstellungen, in der Artikulation von Begründungen für bestimmte pädagogische Schritte und in der Integration mehrerer Faktoren in die pädagogische Argumentation (z. B. Wissen über die Schülerinnen und Schüler, Lehrplanrelevanz, Beurteilungswissen) sichtbar wird. Das fachdidaktische Wissen kann sich demnach im Rahmen schriftlicher Planungen – sei es in der alltäglichen Unterrichtspraxis oder in standardisierten Planungssituationen – manifestieren und ist dementsprechend beobachtbar. Entsprechend der obigen Ausführungen kann das Wissen und Können, das für die Entscheidungsprozesse während der Planung und Gestaltung von Unterricht benötigt wird (Planungskompetenz), dem pPCK zugeordnet werden. Dieses basiert sowohl auf der Wissensgrundlage anderer Bereiche des professionellen Wissens (Fachwissen, pädagogisches Wissen etc.) als auch auf dem kollektiven fachdidaktischen Wissen, das der jeweiligen Fachgemeinschaft innewohnt und an der Universität artikuliert und vermittelt werden kann. Die beobachtbare Planungsperformanz stellt den Teilbereich dieses Wissens und Könnens dar, welcher in der konkreten Planungssituation in Abhängigkeit von den Einstellungen, den Überzeugungen und der Motivation abgerufen und genutzt wird (ePCK$_P$). Obwohl das beobachtbare Planungshandeln nur einen Teil des pPCK darstellt,

kann dieser dennoch einen Einblick in das themenspezifische pPCK von (angehenden) Lehrpersonen sowie dessen Entwicklung über einen Zeitraum hinweg ermöglichen.

2.1.3 Qualitätskriterien zur Unterrichtsplanung

Auf der Suche nach Kriterien, welche eine gute Unterrichtsplanung ausmachen bzw. an denen man sich bei der Planung von Unterricht orientieren sollte, gibt es im Wesentlichen zwei Herangehensweisen. Allgemeine Didaktiken streben „die Theoretisierung und operative Gestaltung von Lehren und Lernen im Kontext von Ausbildung für den pädagogischen Beruf des Lehrers“ (Terhart, 2002, S. 80) an. Sie sind nicht aus der empirischen Bildungsforschung entstanden, sondern basieren auf dem Wissen von Praktiker*innen (Terhart, 2002). In dieser Teildisziplin der Schulpädagogik wird u. a. versucht, die Planung von Unterricht mit Hilfe von normativ orientierten allgemeindidaktischen Planungsmodellen zu strukturieren und zu modellieren. Die Modellierungen im Rahmen allgemeiner Didaktiken im Sinne der Modelltheorie haben durchaus das Potential, die Komplexität von Unterrichtsprozessen zu reduzieren (K.-H. Arnold & Koch-Priewe, 2010) und gleichzeitig „eine handlungsweisende Funktion“ (Wernke et al., 2015, S. 430) einzunehmen. Wiater (2009) und Seel (2011) sehen den Nutzen didaktischer Modelle nicht in ihrer direkten Anwendung. Vielmehr bieten diese Theorien einen metatheoretischen Rahmen zur Reflexion von Unterricht und eine Orientierung bei der Entwicklung von Handlungsoptionen. Bei der Lehr-Lern-Forschung handelt es sich um ein Forschungsgebiet der Pädagogischen Psychologie, in dem das Ziel verfolgt wird, Lehr-Lern-Prozesse mit Hilfe empirischer Daten zu beschreiben, zu erklären und zu optimieren (Terhart, 2002). Zwischen diesen beiden Ansätzen gibt es bei aller Unterschiedlichkeit durchaus Ähnlichkeiten zwischen den postulierten Unterrichtsbedingungen (Kobarg, Thoma, Dalehefte, Seidel & Prenzel, 2011). Im Folgenden sollen daher einige Kriterien vorgestellt werden, welche aus der Lehr-Lern-Forschung einerseits und aus (allgemein)didaktischen Planungsmodellen andererseits stammen.

2.1.3.1 Qualitätskriterien aus der Lehr-Lern-Forschung

Im Rahmen der empirischen Lehr-Lern-Forschung wird versucht, Merkmale von Unterricht zu identifizieren, welche einen empirisch nachweisbaren Einfluss beispielsweise auf die Leistungen und die Motivation der Schülerinnen und Schüler haben. Dies geschieht sowohl im Rahmen empirischer Studien in realen Unterrichtssituationen als auch in quasi-experimentellen Designs (Kobarg et al., 2011). Metastudien wie die von Hattie, Beywl und Zierer (2014) fassen die Ergebnisse solcher Studien zusammen und ermöglichen evidenzbasierte Aussagen über die Wirkungen verschiedenster Unterrichtsbedingungen. Aus den Ergebnissen dieser Forschung lassen sich Variablen und Kriterien ableiten, deren positive Ausprägung den Lernerfolg erhöht (Helmke, 2007). Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Zusammenstellungen von Unterrichtsqualitätsmerkmalen

(Brophy, 2000; Ditton, 2000). Ein Beispiel für eine solche Auflistung im deutschsprachigem Raum liefert neben Meyer (2018) auch Helmke (2009), welcher folgende Aspekte als Merkmale für „guten“ Unterricht heranzieht:

1. Klassenführung
2. Klarheit und Strukturiertheit
3. Konsolidierung, Sicherung
4. Aktivierung
5. Motivierung
6. Lernförderliches Klima
7. Schülerorientierung
8. Kompetenzorientierung
9. Umgang mit Heterogenität
10. Angebotsvariation

Beim Vergleich verschiedener Merkmalskataloge fallen zwar die unterschiedlichen Formulierungen und das unterschiedliche Abstraktionsniveau auf, viele der einzelnen Aspekte tauchen aber wiederholt auf. Zu nennen wären hier beispielsweise die (kognitive) Aktivierung der Schülerinnen und Schüler, deren individuelle Unterstützung, eine angemessene Klarheit und Strukturiertheit der Inhalte, das Vorhandensein transparenter und bedeutungsvoller Ziele bzw. Erwartungen, eine gewisse Methodenvielfalt sowie die Bedeutung des Übens und Wiederholens. Betont werden beispielsweise auch die Bedeutung der verfügbaren bzw. aktiv genutzten Unterrichtszeit und ein lernförderliches Klassenklima.

Um Missverständnisse hinsichtlich dieser Merkmale zu vermeiden, merken Helmke und Schrader (2008) an, dass solche Kriterien fächerübergreifende Variablen „guten“ Unterrichts darstellen. Diese hätten zwar einen nachweisbaren Einfluss auf den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler, um die Unterrichtsqualität aber angemessen beurteilen zu können, müssten auch fachspezifische Merkmale berücksichtigt werden. Sinn und Zweck solcher Listen von Unterrichtsqualitätsmerkmalen sei nicht, diese unmittelbar im Unterricht einzusetzen. Sie sollten vielmehr als Steuerungswissen und als Orientierungshilfe bei der Planung, Durchführung und Reflexion von Unterricht dienen.

Das Wissen über diese Merkmale ist eine notwendige, wenn auch nicht hinreichende Voraussetzung für erfolgreichen Unterricht (Helmke & Schrader, 2008), welches bereits bei der Planung dessen eingesetzt werden sollte (Sandfuchs, 2009a).

2.1.3.2 Allgemeindidaktische Planungsmodelle

Es existiert eine große Anzahl an unterschiedlichen allgemeindidaktischen Planungsmodellen (Kron, 2008). Zu den prominentesten Didaktiken im deutschsprachigen Raum gehören die *Didaktische Analyse* von Klafki (1958, 1962), welche später zum *Perspektivenschema der Unterrichtsplanung* weiterentwickelt wurde (Klafki, 1985), sowie das *Berliner Modell* von Heimann, Otto und Schulz (1965) (Aprea, 2020). Auch das *Hamburger*

Modell von Schulz (1980) zählt zu den zentralen allgemeindidaktischen Planungsmodellen (Kobarg et al., 2011). Diese Modelle sollen im Folgenden knapp umrissen werden. Für eine detailliertere Übersicht der ausgewählten Modelle sei an dieser Stelle beispielsweise auf die Arbeit von Weingarten (2019) verwiesen.

Die Didaktische Analyse von Klafki basiert auf einer kritisch-konstruktivistischen Sichtweise, welche die Emanzipation der Schülerinnen und Schüler als eigen- und selbstständige Subjekte zum Ziel hat (Wiater, 2009). Kern der Unterrichtsvorbereitung machen in diesem Modell fünf Grundfragen aus, welche u. a. helfen sollen, die Bedeutung des Inhalts für die Schülerinnen und Schüler und deren Zukunft, die Struktur des Inhalts sowie den übergeordneten Sachverhalt für den der Inhalt exemplarisch steht, zu erschließen (Klafki, 1962). Dieses Modell entwickelte Klafki in den folgenden Jahren bis hin zum Perspektivenschema der Unterrichtsplanung weiter. Das aus insgesamt sieben Dimensionen bestehende Modell kann als eine Art Planungsheuristik verstanden werden (Weingarten, 2019). Im Perspektivenschema wird zudem die Bedingungsanalyse als Grundlage aller Planungsentscheidungen eingeführt. Klafki sieht die Unterrichtsplanung dabei als offenen Entwurf, dessen Qualität in der Befähigung zum flexiblen, didaktisch begründeten Handeln und in der Gestaltung produktiver Lernprozesse besteht (Klafki, 2007).

Im Berliner Modell wird zwischen der Struktur- und Faktorenanalyse unterschieden (Wiater, 2009). Die Strukturanalyse besteht aus den vier Entscheidungsfeldern Intentionen, Themen, Verfahren und Medien und den beiden Bedingungsfeldern anthropogene und sozial-kulturelle Voraussetzungen (K.-H. Arnold & Koch-Priewe, 2010). Die Faktorenanalyse (Normenkritik, Faktenbeurteilung, Formenanalyse) dient der Prüfung und Reflexion der weiteren Kontextbedingungen (Weingarten, 2019; Wiater, 2009). Bedeutsam an diesem Modell ist vor allem das Postulat der durchgehenden Interdependenz der einzelnen Entscheidungs- und Bedingungsfelder (K.-H. Arnold & Koch-Priewe, 2010). Die einzelnen Entscheidungen sind damit nicht isoliert voneinander zu treffen, sondern stehen in einem engen Beziehungsgefüge. Der Planungsprozess wird demnach als iterativer Vorgang beschrieben, dessen Qualität in der Passung der Entscheidungs- und Bedingungsfelder zu sehen ist (Weingarten, 2019). Nach K.-H. Arnold und Koch-Priewe (2010) besteht die Leistung des Berliner Modells darin, ein „nutzbares, wissenschaftlich fundiertes Analysemodell für durchgeführten Unterricht, für den eine schriftliche Planung vorliegt“ (K.-H. Arnold & Koch-Priewe, 2010, S. 409) vorgelegt zu haben.

Das Hamburger Modell ist die überarbeitete und weiterentwickelte Variante des Berliner Modells von Heimanns akademischen Schüler Wolfgang Schulz (K.-H. Arnold & Koch-Priewe, 2010; Wiater, 2009). Er teilt sein Strukturmodell in die Dimensionen Unterrichtsziele, Ausgangslage, Vermittlungsvariablen und Erfolgskontrollen, welche als Abwandlungen der im Berliner Modell vorkommenden Entscheidungsfelder zu sehen sind. Die Ausgangslage der Schülerinnen und Schüler wird aber nicht wie im Berliner Modell als Bedingungsfeld, sondern als einer der vier Strukturmomente gesehen (Weingarten, 2019). Diese Strukturmomente laufen in Mitten institutioneller Bedingungen sowie gesellschaftlicher Felder (Arbeit, Herrschaft und Kultur) ab (Wiater, 2009). Im Hamburger Modell werden die drei Ebenen Perspektivplanung des Unterrichts, Umrisspla-

nung einer Unterrichtseinheit sowie Prozessplanung (einer Unterrichtsstunde) unterschieden (K.-H. Arnold & Koch-Priewe, 2010; W. Schulz, 1980). Ähnlich wie bei Klafkis Ansatz sieht Schulz die Emanzipation der Schülerinnen und Schüler im Mittelpunkt seiner Didaktik. Das professionelle Handeln von Lehrkräften sei daran zu messen, „inwiefern damit die Schülerinnen und Schüler stets auch zu einer autonomen Lebensgestaltung befähigt werden“ (Weingarten, 2019, S. 61).

Obwohl diese Modelle auf unterschiedlichen Ansätzen beruhen, weisen sie dennoch einige Gemeinsamkeiten auf. So arbeiten Kobarg et al. (2011) heraus, dass sowohl im Hamburger Modell und als auch in der Didaktische Analyse Lernen als aktiver Prozess gesehen wird, welcher das Schaffen von Gelegenheiten zum selbstständigen Lernen der Schülerinnen und Schüler nötig macht. Außerdem wird in beiden Didaktiken das Lernen als sozialer Prozess angesehen. Eine weitere Gemeinsamkeit ist die „Bedeutung der Lernziele und der Strukturierung des Unterrichts“ (Kobarg et al., 2011, S. 51). In beiden Modellen dienen die Lernziele als Grundlange bei der Planung von Unterricht (Kobarg et al., 2011). Die Intentionen des Unterrichts stellen bereits im Berliner Modell eine der vier Entscheidungsfaktoren dar (Greimel-Fuhrmann, 2017) und liefern damit die Vorlage für Schulz‘ Primat der Lernziele. Die Interdependenz zwischen den verschiedenen Entscheidungsfaktoren hat Schulz in das Hamburger Modell übertragen.
Zusammenfassend lassen sich damit aus den drei beschriebenen Modellen folgende Kriterien ableiten: Die Bedeutung der Lernziele als Grundlage zur Planung von Unterricht, das Lernern der Schülerinnen und Schüler als aktiver und sozialer Prozess, die Interdependenz bzw. Passung zwischen verschiedenen didaktischen Entscheidungen und die Bedeutung der Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler für den Lernprozess.

2.1.3.3 Didaktische Rekonstruktion

Basierend u. a. auf dem Ansatz der Didaktischen Analyse und dem Berliner Modell entwickelten Kattmann, Duit, Gropengießer und Komorek (1997) für den naturwissenschaftlichen Unterricht mit der Didaktischen Rekonstruktion ein fachdidaktisches Rahmenmodell zur Planung, Durchführung und Auswertung von Unterricht sowie von fachdidaktischer Lehr-Lernforschung (Nerdel, 2017; Reinfried et al., 2009). Dabei vertritt das Modell sowohl eine konstruktivistische Sicht auf das Lernen und Lehren als auch ein konstruktivistisches epistemologisches Wissenschaftsverständnis (Kattmann et al., 1997; Kattmann, 2005). Das Modell besteht aus den drei Untersuchungsaufgaben Fachliche Klärung, Erhebung von Lernerperspektiven und didaktische Strukturierung (Design von Lernangeboten), welche wechselseitig aufeinander bezogen sind (Kattmann, 2007). Da diese drei Untersuchungsaufgaben nicht unabhängig voneinander stattfinden, wird der Planungsprozess als iteratives und rekursives Vorgehen beschrieben. Die Abhängigkeit dieser drei Komponenten basiert auf der Idee der Interdependenz der Strukturmomente im Berliner Modell.

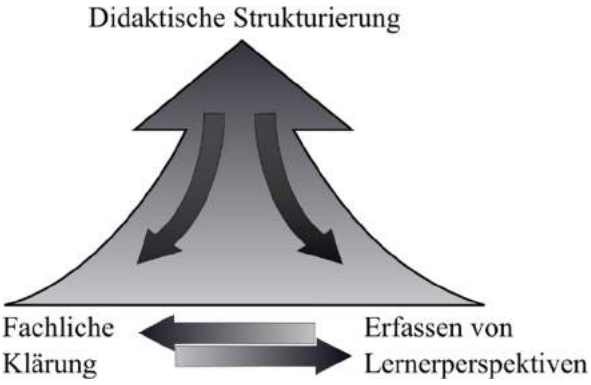


Abbildung 2-7: Fachdidaktisches Triplett im Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann, 2007); nachgezeichnet

Für die Durchführung und Planung von Unterricht sehen Kattmann et al. (1997) die Kenntnis fachwissenschaftlicher Inhalte und Methoden als essentiell. Allerdings kritisieren sie die häufig unreflektierte und unkritische Entnahme fachlicher Vorstellungen aus wissenschaftlichen oder schulischen Lehrbüchern. Sie plädieren für die Notwendigkeit einer fachdidaktischen Analyse der fachlichen Vorstellungen, um eine metatheoretische Sichtweise auf die Fachinhalte mit sowohl zwischenfachlichen als auch überfachlichen Verknüpfungen zu erhalten. Damit folgen sie wichtigen Kernelementen der Didaktischen Analyse von Klafki. Beispielsweise sehen sie den Prozess der Anpassung komplexer wissenschaftlicher Sachstrukturen nicht in der bloßen Vereinfachung der Inhalte, sondern in der Erarbeitung wesentlicher Elementaria, also den Inhalten zugrundliegende Grundideen. Entsprechend des konstruktivistisch-epistemologischen Wissenschaftsverständnisses, verstehen sie die notwendige Elementarisierung dabei nicht als das Auffinden fester unveränderlicher Aspekte, sondern als Konstruktionsprozess. Ziel ist es, die Sachstruktur der Wissenschaft in die Sachstruktur für den Unterricht zu transformieren (Tardent Kuster, 2019). Um die Inhalte für die Schülerinnen und Schüler besser zugänglich zu machen, muss neben der Elementarisierung eine Einbettung in für die Lernenden sinnvolle Kontexte vorgenommen werden (Duit, Gropengießer, Kattmann, Komorek & Parchmann, 2012). Die Inhalte umfassen dabei nicht nur das reine Faktenwissen, sondern darüber hinaus bestimmte Denk- und Arbeitsweisen sowie Wissen über die Natur der Naturwissenschaften (Duit et al., 2012).

Neben der fachlichen Klärung ist die empirische Erhebung der Schülervorstellungen eine weitere Komponente des Modells. Zu dieser werden in der Didaktischen Rekonstruktion nicht nur das Wissen der Schülerinnen und Schüler gezählt, sondern alle Begriffe, Konzepte, Denkfiguren und Theorien, welche bei den individuellen Schülerinnen und Schüler vorhanden sind (Kattmann et al., 1997). Sehr bedeutsam ist hier, dass die Alltagstheorien der Schülerinnen und Schüler nicht als grundsätzlich falsch, sondern als wichtiger Ausgangspunkt für das Lernen betrachtet werden (Kattmann et al., 1997). Im Gegenzug werden wissenschaftliche Vorstellungen nicht als grundsätzlich richtig verstanden, sondern die Gleichwertigkeit von fachlichen Konzepten und von Schülervorstellungen betont (Kattmann, 2005). Lernen wird damit nicht als das Ersetzen der Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler betrachtet, sondern als Anpassung und Ausdifferenzierung der vorhandenen Wissensstrukturen, womit den Schülerinnen und Schülern eine

aktive Rolle im Lernprozess zukommt (Kattmann, 2005; Reinfried et al., 2009). Die Autor*innen knüpfen dabei am Konzept conceptual change (Duit, Treagust & Widodo, 2008) an, wobei sie zur Vermeidung von Missverständnissen den Begriff conceptual reconstruction vorschlagen (Duit et al., 2012; Kattmann, 2007). Bei der Erhebung der Schülervorstellungen geht es darum, mit adäquaten Mitteln bereichs- und themenspezifische Denkweisen zu identifizieren und zu kategorisieren, um diese anschließend hinsichtlich wissenschaftlicher Vorstellungen analysieren zu können. Duit et al. (2012) erweitern diese Komponente nochmals, in dem sie nicht nur Bezug auf die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler nehmen, sondern für diese Phase generell auf die Ergebnisse empirischer Lehr-Lern-Forschung verweisen. Demnach sind nicht nur die Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler bedeutsam. Vielmehr müssen auch Studien über Lehr-Lernprozesse, über die besondere Rolle bestimmter Unterrichtsmethoden – wie zum Beispiel experimenteller Lernumgebungen – und über die Rolle der Überzeugungen und Werthaltungen von Lehrkräften berücksichtigt werden (Duit et al., 2012).

Die didaktische Strukturierung stellt im Modell den eigentlichen Planungsprozess dar, in dem Ziel-, Inhalts- und Methodenentscheidungen getroffen und Lernumgebungen gestaltet werden (Kattmann, 2007). Diese Komponente basiert auf der Verknüpfung der Resultate der fachlichen Klärung und der Erhebung der Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler. Es sollen systematische Beziehungen zwischen den Konzepten, Theorien und Vorstellungen beider Seiten hergestellt werden, um sowohl lernförderliche als auch lernhinderliche Aspekte zu identifizieren. Die didaktische Strukturierung soll dabei in dem Sinne auf die anderen beiden Komponenten bezogen werden, als dass die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler als Ausgangspunkt und die in der fachlichen Klärung gewonnenen Aussagen als Zielbereich verstanden werden sollen (Kattmann et al., 1997).

Die Autor*innen sehen in ihrem Modell eine praktische Theorie, die sich sowohl für die Konzeption naturwissenschaftlichen Unterrichts als auch für die fachdidaktische Forschung eignet (Kattmann et al., 1997). So wurde die Didaktische Rekonstruktion von Beginn an anhand zentraler Begriffe des Biologieunterrichts erprobt bzw. für die Erschließung neuer Themen in der Physik verwendet (Kattmann et al., 1997). Unter Bezugnahme auf die Didaktische Rekonstruktion konnten also bereits viele Konzeptionen in verschiedenen Fächern erarbeitet werden (Duit et al., 2012). Einige kurze Beispiele finden sich bei Reinfried et al. (2009) und bei Nerdel (2017). Um das Modell auch für die Analyse von Unterricht verwenden zu können, entwickelten Komorek und Kattmann (2009) aus den planenden Fragen zur didaktischen Strukturierung entsprechende reflexive Fragen. Im Rahmen des ERTE-Modells (Educational Reconstruction for Teacher Education) entwickelten van Dijk und Kattmann (2007) das Modell der Didaktischen Rekonstruktion weiter, um damit das themenspezifische PCK von Lehrkräften zu erforschen und damit einen Beitrag zur Verbesserung der Lehramtsausbildung zu leisten.

2.1.3.4 Heuristisches Modell der Unterrichtsplanung

Vogelsang und Riese (2017) entwickelten auf der Suche nach Qualitätskriterien für die Planungsperformanz ein einfaches heuristisches Modell zur Unterrichtsplanung. Dieses unterscheidet zwei grundlegende Qualitätsbereiche: die Kreation im Sinne unterrichtsvorbereitender Handlungen und die Legitimation im Sinne von Begründungen und Rechtfertigungen für die geplanten Handlungen (vgl. Abbildung 2-8).

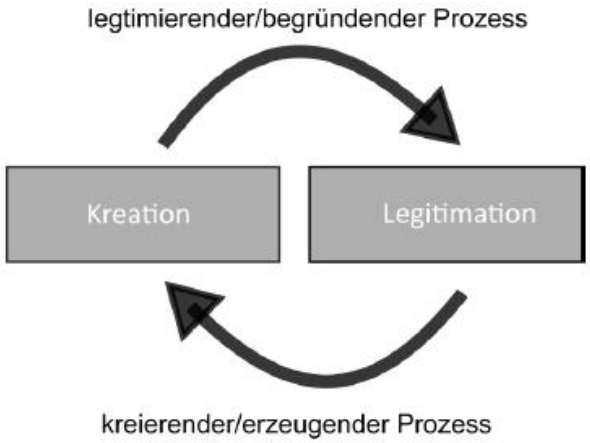


Abbildung 2-8: Heuristisches Modell der Unterrichtsplanung (Riese, Schröder & Vogelsang, 2016, S. 757)

Der Planungsprozess vollzieht sich ihrer Auffassung nach in zwei Mustern. Im legitimierenden Muster wird eine zunächst kreierte oder ausgewählte konkrete Handlung (z.B. eine Aufgabe oder ein Experiment) anschließend begründet (Riese et al., 2016). Im kreierenden Prozess wird „ausgehend von einer (auch subjektiven) theoretischen Konzeption eine mögliche Unterrichtshandlung abgeleitet“ (Vogelsang & Riese, 2017, S. 51). Damit definieren die Autoren die Planung in Anlehnung an Shavelson und Stern (1981) als zirkulär ablaufenden Prozess. Aus diesem Modell leiten Vogelsang und Riese (2017) ab, dass die Qualität von Unterrichtsplanungen sowohl mit einer hohen Designqualität, als auch mit einer hohen Begründungsqualität einhergeht. Im Rahmen ihrer Untersuchung führten sie eine Inhaltsanalyse von 15 aktuellen Praxisratgebern zur Unterrichtsplanung durch. In 93 % der untersuchten Werke wird betont, dass Unterricht Lehrprozesse und Kompetenzerwerb anregen soll. In neun Ratgeber werden explizit Qualitätsmerkmale guten Unterrichts genannt. Mit unterschiedlicher Häufigkeit thematisieren die Planungsratgeber Metakriterien wie die Stimmigkeit/Interdependenz, das Primat der Ziele, die Variabilität, die Konkretheit/Kontrollierbarkeit, die Authentizität und die Fachliche Korrektheit. Wichtig scheint dabei zu sein, dass Handlungen zueinander passen und in Bezug auf andere Planungsaspekte begründet werden. Etwa ein Viertel der Ratgeber erwähnt, dass Planungsentscheidungen von Lernzielen aus geschehen und mit diesen begründet werden sollten. Fast die Hälfte aller Ratgeber gibt die Variabilität (Plan ist offen für spontane Änderungen) als Qualitätskriterium an. Die Konkretheit der Bedingungsanalysen und der Verlaufspläne wird in 33 % der Quellen als Kriterium genannt. Insgesamt kommen Vogelsang und Riese (2017) zu dem Schluss, dass vor allem der Legitimation eine wichtige Bedeutung beigemessen wird.

2.1.3.5 Qualitätskriterien aus bestehenden Instrumenten

An dieser Stelle werden nun weitere Kriterien aus verschiedenen Arbeiten beschrieben, die sich mit der Analyse von Unterrichtsplanungen bzw. deren Qualität befassen. Die hier vorgestellten Kriterien basieren dabei in den meisten Fällen auf den bereits erläuterten Qualitätskriterien aus der Lehr-Lern-Forschung sowie aus allgemein- oder fachdidaktischen Modellen zur Unterrichtsplanung. Eine strikte Abgrenzung zu den vorangegangenen Kapiteln ist damit kaum möglich und wird nicht angestrebt. Vielmehr soll hier ein exemplarischer Überblick darüber geschaffen werden, wie andere Autor*innen die Qualität von (Unterrichts-)Planungen operationalisieren.

Stender (2014) unterscheidet bei der Analyse der Handlungsskripte zur Unterrichtsplanung in der Physik zwischen formalen und funktionalen Qualitätsmerkmalen. Zu den formalen Merkmalen zählt sie neben der Abrufbarkeit des Handlungsskriptes, die Abhängigkeit zwischen verschiedenen Planungsbereichen und die Konkretheit der getroffenen Entscheidungen. Die funktionalen Merkmale stehen in engem Zusammenhang mit Unterrichtsqualitätsmerkmalen, beispielsweise der kognitiven Aktivierung und der Strukturiertheit des Unterrichts. Konkret zählt sie die Kriterien Angepasstheit, Kohärenz und Aktivierung zu diesem Bereich. Mit Angepasstheit und Kohärenz ist dabei gemeint, dass die Planungsentscheidungen sowohl zu den situativen Vorbedingungen (z. B. Vorwissen, Motivation und Interesse der Schülerinnen und Schüler oder räumliche Gegebenheiten) passen als auch untereinander aufeinander abgestimmt sein müssen. Einen kognitiv aktivierenden Unterricht sieht die Autorin im Vorhandensein von Freiräumen zur eigenen Entwicklung von Ideen und Konzepten durch die Schülerinnen und Schüler. Die untersuchten Handlungsskripte werden dabei mit einem vignettenbasierten Online-Instrument erhoben, welches Planungsentscheidungen der Probanden abfragt, aber keine Unterrichtsplanungen im klassischen Sinne darstellt (Stender et al., 2017).

König et al. (2015) analysierten in ihrer Studie die schriftlichen Unterrichtsplanungen angehender Lehrkräfte und fokussierten dabei auf den Aspekt der didaktischen Adaptivität. Zur inhaltlichen Untersuchung der Planungen entwickelten sie fachunspezifische Items, mit denen sie die Passung zwischen den kognitiven Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler mit den in der Planung enthaltenen Aufgaben einschätzen können. Die insgesamt elf dichotomen Kriterien beziehen sich auf die Bereiche Beschreibung situativer Bedingungen (Lerngruppe), Beschreibung der Aufgabe, Passung zwischen Lerngruppe und Aufgabe sowie Verknüpfung von Aufgaben und weiteren Planungselementen. Nach der Auffassung der Autor*innen bilden die entwickelten Items lediglich einen Ausschnitt von Planungskompetenz ab und erheben daher keinen Anspruch auf die vollständige Erfassung dieses Konstrukts.

Zierer, Werner und Wernke (2015) forderten im Rahmen ihrer Untersuchung 68 Lehramtsstudierende dazu auf, innerhalb von 45 Minuten einen Planungsentwurf zum Thema *Aggregatzustände des Wassers – fest, flüssig, gasförmig* für eine 5. Klasse der Realschule anzufertigen. 48 Studierenden stand dabei je ein didaktisches Modell als Hil-

festellung zur Verfügung (je zwölf Mal Berliner Modell, Hamburger Modell, Perspektivenschema und Eklektisches Modell (Zierer, 2010)), während die übrigen 20 Probanden ohne Hilfe planten. Aus den erhobenen Entwürfen entwickelten sie induktiv ein Kategoriensystem, um die Planungen sowohl quantitativ und qualitativ auswerten zu können. Die quantitative Analyse (Häufigkeit der kodierten Oberkategorien) zeigt, dass die mit Modell planenden Studierenden bei den Oberkategorien Ziele und Lerngruppe signifikant häufiger entsprechende Planungsüberlegungen äußern. Die Kategorie Sonstige (beiläufige, eher unwesentliche Aspekte) wird dagegen signifikant häufiger bei der Gruppe ohne Modell kodiert. In den restlichen Oberkategorien (Medien, Inhalt, Methodik, Verlauf und Rahmen) kann kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt werden. Hinsichtlich der qualitativen Auswertung konnten Zierer et al. (2015) die drei Beantwortungsmuster (Ich-)Erzähler, Schematiker und Modellierer identifizieren. Auf diesen Analysen aufbauend entwickelten sie ein Planungskompetenzmodell, das die Bereiche Perspektivität, Dimensionalität und Verständnis umfasst.

Weingarten und van Ackeren (2017) entwickelten ein Kategoriensystem mit dem Ziel, eine möglichst umfassende Beschreibung der Planungspraxen von (angehenden) Lehrkräften verschiedener Fächer zu ermöglichen. Den acht Oberkategorien wurden insgesamt 28 Subkategorien zugeordnet. Innerhalb der Oberkategorie zur Qualität kompetenzorientierter Unterrichtsplanungen gibt es vier Subkategorien zu kognitiv-aktivierendem Unterricht (Situierung, Multiperspektivität, Kooperatives Lernen, Handlungsorientierung) und vier Subkategorien zu Aspekten individualisierten Lernens (Aktivierung von Vorwissen, Selbststeuerung, Differenzierung, Partizipation). Damit orientieren sich die Autor*innen bei dieser Kategorie an Merkmalen der Unterrichtsqualität. Zusätzlich erfasst die Kategorie Epistemologische Grundorientierung die lerntheoretische Ausrichtung von deutlich transmissiver bis hin zu deutlich konstruktivistischer Unterrichtsgestaltung (Weingarten, 2019). Die untersuchten Unterrichtsplanungen werden in den genannten Kategorien auf einer vierstufigen Skala (keine Realisierung bis maximale Realisierung) eingeschätzt.

Tardent Kuster (2019) konzipierte ein Ratingmanual zur Analyse der Qualität des fachdidaktischen Wissens in Unterrichtsplanungen sowie videographierten Planungsgesprächen zum experimentellen Handeln im Fach Biologie. Basierend auf den Grundideen der Didaktischen Rekonstruktion formuliert sie die beiden Qualitätsbereiche Analyse sowie Konstruktion und erweitert diese in Anlehnung an Börlin (2012) um den Bereich Reflexivität. Der Analyse ordnet sie dabei die Kategorien Schülervorstellungen (Indikatoren: Kenntnis, Erhebung, Umgang), Fachliche Klärung (Indikatoren: Korrektheit, Relevante Fachwörter, Material- und Geräteauswahl und -einsatz) sowie Unterrichtsziele (Indikatoren: Auswahl, Zielklarheit, Zielorientierung) zu. Der Bereich Konstruktion wird durch die Didaktische Strukturierung (Indikatoren: Fachimmanente Einbettung, Lebensweltliche Einbettung, Kognitiver Anspruch, Sequenzierung, Zeitplanung) abgedeckt. Die Reflexivität setzt sich aus den Indikatoren Ergebnisreflexion, Prozessreflexion und Begriffsbildung zusammen. Dieses Ratinginstrument besteht damit aus insgesamt 5 Kategorien mit insgesamt 19 untergeordneten Indikatoren, welche das nötige fachdidaktische

Wissen zur Gestaltung experimentellen Unterrichts aufspannen. Die graduellen Qualitätsabstufungen innerhalb der Indikatoren werden mit Hilfe einer vierstufigen Rating-Skala operationalisiert.

Kirsch (2020) entwickelte Qualitätsstandards für die Unterrichtsplanung von Sachunterricht. Als generische Facetten der Planungskompetenz zählt auch er die Adaptivität, die Kohärenz, das Potenzial für kognitive Aktivierung, die Strukturierung und die Korrektheit. Auf dieser Grundlage entwickelte er für alle gängigen Teiltätigkeiten bei der Unterrichtsplanung zunächst theoriebasiert deduktiv insgesamt 48 Standards, welche durch die Befragung von 24 Fachleitungen hinsichtlich ihrer praktischen Relevanz bestätigt wurden. Die entwickelten Kriterien stellen somit sowohl aus theoretischer als auch aus praktischer Sicht relevante Qualitätsmerkmale für die sachunterrichtliche Planungskompetenz dar.

Mit dem Ziel, ein möglichst ökologisch valides und dennoch standardisiertes Messverfahren zur Analyse der Planungsfähigkeiten von angehenden Physiklehrkräften zu entwickeln, adaptierten Schröder et al. (2020) im Rahmen des Projekts ProfiLe-P+ die Idee der Performanztests aus der Medizinausbildung für schriftliche Unterrichtsplanungen. Die erhobenen Unterrichtsplanungen werden mit Hilfe eines Kategoriensystems hinsichtlich ihrer Qualität eingeschätzt. Bei der Entwicklung dieses Kategoriensystems orientierten sich die Autor*innen an dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion sowie an Planungsratgebern und Lehrwerken der Physikdidaktik. Das finale Instrument besteht aus den sieben Oberkategorien Fachlicher Inhalt und Fachliche Korrektheit, Elementarisierungen, Darstellung von Lernvoraussetzungen und Eingehen auf diese, Erreichbarkeit der Lernziele bzw. Möglichkeiten zum Kompetenzerwerb, Darstellung und Einsatz von Experimenten, Darstellung und Einsatz von Fragestellungen bzw. Aufgaben, Einsatz von Kontexten bzw. Alltagsbeispielen. Die insgesamt 59 dichotom formulierten Items bilden dabei entweder eine lokale (punktuelle Qualität, z. B. nachvollziehbare Beschreibung) oder eine globale Ebene (Interdependenz einzelner Planungselemente) ab. Mit Verweis auf das Heuristische Modell der Unterrichtsplanung von Vogelsang und Riese (2017), bei welchem zwischen den Qualitätsbereichen Kreation und Begründung unterschieden wird, wurden darüber hinaus auch solche Items entwickelt, welche eine Bewertung der in den Planungen enthaltenen Begründungen zulassen.

2.1.4 Empirische Befunde zur Unterrichtsplanung

Eine nennenswerte Anzahl empirischer Untersuchungen zur Unterrichtsplanung von Lehrkräften entstand ab Mitte der 70er Jahre im englischsprachigen Raum (Seel, 2011). Ab Anfang der 80er Jahre beschäftigten sich deutsche Forscher*innen vermehrt mit diesem Thema (Bakenhus et al., 2017). Bei der Erforschung des Untersuchungsgegenstandes *Unterrichtsplanung* gibt es dabei unterschiedliche Zielsetzungen. In einigen Studien wird die Erfassung der tatsächlichen Planungspraxen von (angehenden) Lehrkräften bzw. die in der Realität ablaufenden Planungsprozesse angestrebt (Bakenhus et al., 2017; Bromme, 1981; Haas, 1998, 2005; Tebrügge, 2001; Zahorik, 1975). Andere Arbeiten befassen sich damit, die Fähigkeiten bzw. das Wissen zu modellieren, das Lehrkräfte benötigen, um

Unterricht zu gestalten. Auf Grundlage dieser Modellierungen werden Messinstrumente konzipiert (vgl. Kapitel 2.1.3.5), die es ermöglichen sollen, die Entwicklung eben dieser Konstrukte über bestimmte Abschnitte der Lehramtsausbildung hinweg zu untersuchen (Baer et al., 2011; König et al., 2015; Schröder et al., 2020). Darüber hinaus wird in sogenannten Validierungsstudien versucht, die modellierten Konstrukte bzw. die betreffenden Messinstrumente z. B. anhand bestimmter Außenkriterien zu validieren (König et al., 2015; König et al., 2017; Schröder et al., 2020; Schüle, Besa & Arnold, 2017; Stender et al., 2015; Tardent Kuster, 2019). Entsprechend der Anzahl verschiedener Gegenstandsbereiche gibt es ein vielfältiges Repertoire an methodischen Zugängen zur Untersuchung der Unterrichtsplanung. Dazu gehören Fragebogen-, Fall- oder Interviewstudien, Laut-Denken-Protokolle, Analysen von Planungsmaterialien und Planungsprodukten, Stimulated-Recall-Befragungen und Kompetenztests, welche häufig auch auf unterschiedliche Weise miteinander kombiniert werden (Weingarten, 2019; Wernke et al., 2015). Darüber hinaus werden auch Selbsteinschätzungsverfahren (Bach, 2013) und standardisierte (Vignetten-)Tests zur Erhebung der Planungskompetenz eingesetzt (Blömeke & König, 2011; Schüle et al., 2017).

2.1.4.1 Planungspraxen von (angehenden) Lehrkräften

Auf Grundlage der Ergebnisse verschiedener Studien fassen Bakenhus et al. (2017, S. 180–182) einige zentrale Ergebnisse zur Planungspraxis von Lehrkräften zusammen. Dazu sei aber angemerkt, dass einige dieser Studien aufgrund zu geringer Stichproben (z. B. Yinger (1978) mit N = 1 und Bromme (1981) mit N = 14) in der Kritik stehen wenig generalisierbar zu sein (Wernke et al., 2015). In ihrer eigenen Studie untersuchten Bakenhus et al. (2017) die Planungsnotizen von 122 Lehrkräften verschiedener Schulformen und Fächer und werteten diese mit einem Kategoriensystem aus. Die Besonderheit an ihrer Studie ist, dass die Lehrkräfte dazu angehalten wurden, ihre Vorbereitungsschritte im Rahmen eines ausnahmebezogenen Szenarios niederzuschreiben. In diesem mussten sich die Lehrkräfte in die Situation versetzten, fachfremd und für eine nicht bekannte Schulklasse über einen längeren Zeitraum zu unterrichten. Damit wollten die Autoren erreichen, dass die Lehrkräfte nicht auf vorhandene Planungen zurückgreifen konnten und „grundsätzliche Überlegungen zum Unterricht […] bewusst angestellt werden müssen“ (Bakenhus et al., 2017, S. 184). Die erwähnten zentralen Ergebnisse aus vorangegangenen Studien sollen hier kurz berichtet und um die Ergebnisse von Bakenhus et al. (2017) ergänzt werden:

Die **Lerngruppe** spielt bei der alltäglichen Unterrichtsplanung eine implizite Rolle. Vorwiegend wird dabei die ganze Klasse berücksichtigt (Aktivierung, Vorkenntnisse), einzelne Schülerinnen und Schüler werden nur selten bedacht (Bromme, 1981; Haas, 1998; Wengert, 1989). In der Untersuchung von Bakenhus et al. (2017) stellt die Oberkategorie *Lerngruppe* die am häufigsten genannte Kategorie dar. Jede zweite Lehrkraft thematisierte demnach die Vorkenntnisse bzw. den Lernstand der Schülerinnen und Schüler, welche sich aber wie in vorherigen Studien eher auf die Klasse als Ganzes beziehen. Konkrete **Lernziele** werden sehr selten bis gar nicht ausformuliert (Haas, 2005; Morine-

Dershimer, 1979). Implizit ist aber durchaus eine Lernzielorientierung feststellbar (Yinger, 1978). Ziele werden dabei entlang des Lehrplans auf ganze Unterrichtseinheiten bezogen (Tebrügge, 2001). Diese Ergebnisse können Bakenhus et al. (2017) reproduzieren. In ihrer Untersuchung ist die Oberkategorie *Lernziele* mit 45 von 1575 Nennungen die Kategorie mit den zweitwenigsten Kodierungen. Der **Inhalt** des Unterrichts stellt sich in einigen Studien als zentraler Aspekt der Planung heraus (Haas, 1998; Morine-Dershimer, 1979; Tebrügge, 2001; Zahorik, 1975). Fachliche Überlegungen stehen demnach häufig im Mittelpunkt von Planungsentscheidungen, allerdings meist in Kombination mit entsprechenden Vermittlungsstrategien (Tebrügge, 2001). Auch in einer aktuelleren Studie stellt der Inhalt neben der Lerngruppe und der Methodik einen der am häufigsten thematisierten Aspekte dar (Bakenhus et al., 2017). Die Probanden berücksichtigen in 50 % der Fälle die Einarbeitung in das Thema und das Sammeln fachlicher Informationen als wesentlichen Planungsaspekt. Eine strukturierte **Verlaufsplanung** wird selten festgestellt (Bromme, 1981; Tebrügge, 2001; Wengert, 1989). Die fachunspezifische Herangehensweise in der Studie von Bakenhus et al. (2017) lässt hier keine Einschätzung zu. Allerdings werden die Subkategorien *Überlegungen zum Ablauf der Stunde* und *Zeitplanung* mit 7,4 % bzw. 10,7 % verhältnismäßig selten kodiert. Tebrügge (2001) stellt fest, dass sich die Lehrkräfte ausführliche Überlegungen zum Einstieg machen. Auch bei Haas (2005) ist dies in 72 % der untersuchten Fälle der Fall. Die anderen betrachteten Studien belegen dagegen keine Präferenz bestimmter **Unterrichtsphasen**. Bei Bakenhus et al. (2017) entfallen immerhin zwischen 30 und 40 % der Nennungen auf den Einstieg und die Sicherung. **Alternativen** werden nur selten bedacht. Bei Haas (2005) ist dies immerhin bei einem Viertel der Lehrkräfte der Fall, allerdings nur in Form einer Abwägung zwischen zwei methodischen Zugängen, welche durchgehend mit der Entscheidung für eine Variante endet. Auch in der Studie von Bakenhus et al. (2017) findet eine Planungsalternative mit 9,8 % wenig Beachtung. Bei den **methodischen Überlegungen** stehen häufig die Aktivitäten der Schülerinnen und Schüler im Vordergrund (Bromme, 1981; Morine-Dershimer, 1979; Zahorik, 1975). Die Methodik ist bei Bakenhus et al. (2017) die am zweithäufigsten kodierte Oberkategorie. Dabei lassen sich fast zwei Drittel der Nennungen der Subkategorie *Arbeits- und Aktionsformen* zuordnen, was die Ergebnisse vorangegangener Studien bestätigt. Planungsentscheidungen bezüglich konkreter Arbeitsaufträgen und ausformulierter Fragen sowie Überlegungen zu den Sozialformen folgen. Aspekte der **Motivierung** und **Differenzierung** werden von Gymnasiallehrkräften eher selten berücksichtigt (Tebrügge, 2001; Wengert, 1989). Bei Haas (2005) konnten hierzu keine Überlegungen festgestellt werden. Mit 12,3 % bzw. 13,9 % stellen diese Aspekte auch bei Bakenhus et al. (2017) eine eher untergeordnete Rolle. **Medien** werden vergleichsweise selten thematisiert. In Mathematik ist hier die Aufgabe ein zentraler Aspekt (Bromme, 1981; Morine-Dershimer, 1979; Wengert, 1989). In der Chemie nimmt das Experiment diesen Platz ein (Tebrügge, 2001). Neben den Schulbuch werden häufig Arbeitsblätter in die Planungen miteinbezogen (Morine-Dershimer, 1979), welche in knapp 50 % der Fälle selbst erstellt oder überarbeitet wurden (Tebrügge, 2001). Die teilnehmenden Lehrkräfte in der Studie von Bakenhus et al. (2017) thematisierten mit insge-

samt 101 Kodierungen den *Medieneinsatz* ebenfalls verhältnismäßig selten. Hauptsächlich werden hier Texte und Arbeitsblätter als eingesetzte Medien genannt. Das Schulbuch nimmt in dieser Untersuchung mit 2,5 % als Unterrichtsmedium eine untergeordnete Rolle ein. In der Mathematik wird zur Unterrichtsplanung hauptsächlich das **Schulbuch** herangezogen (Bromme, 1981; Oehlschläger, 1978; Tebrügge, 2001; Wengert, 1989). Fächer- und schulübergreifend wird das Schulbuch immerhin von rund einem Drittel der Lehrkräfte zur Informationsbeschaffung verwendet (Bakenhus et al., 2017). Als **Quellen** zur Unterrichtsplanung greifen die untersuchten Lehrkräfte demnach vorrangig auf eigenes Material, das Schulbuch oder andere Arbeitsmaterialien von Verlagen zurück (Haas, 2005; Tebrügge, 2001). Eine gemeinsame Unterrichtsvorbereitung findet im Alltag kaum statt (Haas, 2005). Lehrpläne werden meist nur für längerfristige Planungen herangezogen (Wengert, 1989). Wengert (1989) kann in seiner Untersuchung keine **Zielereflexion** feststellen. Haas (2005) dagegen berichtet, dass in über der Hälfte der Fälle reflexive Phasen bezüglich des geplanten Unterrichtsentwurfs erkennbar sind. Diese fallen aber teilweise äußerst kurz aus. Die Oberkategorie *Evaluation* nimmt auch bei den von Bakenhus et al. (2017) untersuchten Lehrkräften eine eher untergeordnete Rolle ein. Bei 26 von den 122 Lehrkräften wurde eine Reflexion der Stunde bzw. der Planung konkret thematisiert. Zwei Drittel der von Haas (2005) untersuchten Lehrkräfte beurteilten **didaktische Modelle** negativ. Daraus resümiert er, dass allgemeindidaktische Modelle nur einen geringen Einfluss auf die Planung haben und bezeichnet diese als Feiertagsdidaktik. Wernke et al. (2015) können in einer quantitativen Befragung von Lehrkräften, Referendaren und Studierenden dagegen zeigen, dass die meisten Planungsmodelle von den Probanden als praktikabel eingeschätzt werden.

Um Aufschluss über die Planungspraxen von angehenden Lehrkräften zu erhalten, untersuchte Weingarten (2019) 180 schriftliche Unterrichtsplanungen von Lehramtsanwärter*innen der Fächer Mathematik, Deutsch, Sozialwissenschaften / Politik und Musik. Die Stichprobe umfasste dabei in gleichen Teilen Lehrkräfte des Gymnasiums, der Realschulen und der Gesamtschule. Die Ergebnisse zeigen, dass auch von angehenden Lehrkräften sowohl fachliche als auch methodische Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler bedacht werden. Darüber hinaus werden Konflikte innerhalb der Lerngruppe und das Sozialverhalten einzelner Schülerinnen und Schüler häufig antizipiert. Am häufigsten setzen sich angehende Lehrkräfte in ihren Planungen mit Inhalten auseinander, welche dem fachdidaktischen Wissen zugeordnet werden können. Allgemein-pädagogischen Wissensinhalte werden in weniger als zwei Drittel der Planungen thematisiert und in nur mehr einem Viertel der Planungen sind fachwissenschaftliche Aspekte expliziter Teil der schriftlichen Planung. In den Unterrichtsentwürfen wird den Schülerinnen und Schülern verhältnismäßig wenig Möglichkeit für einen aktiv-handelnden Umgang mit dem Lerngegenstand gegeben. In den Stundenentwürfen angehender Lehrkräfte des Gymnasiums werden indes „signifikant mehr Perspektiven und Zugänge in der schülerseitigen Auseinandersetzung mit den jeweiligen Lerngegenstanden“ (Weingarten, 2019, S. 228) berücksichtigt als es in den Entwürfen der beiden anderen Schulformen der Fall ist. Selbstgesteuertes Lernen spielt insgesamt eine eher untergeordnete Rolle, allerdings ist diese Tat-

sache bei Lehrkräften der Realschule am deutlichsten feststellbar. In gleicher Weise werden auch Differenzierungsangebote in über zwei Drittel der Entwürfe entweder gar nicht eingeplant oder liegen nur vereinzelt und rudimentär vor. In nur 40 % der Planungen ist eine mindestens deutliche Ausprägung hinsichtlich der Vorwissensaktivierung erkennbar. Dabei konnte insgesamt kein wesentlicher Unterschied zwischen weiblichen und männlichen Lehrkräften gefunden werden.

2.1.4.2 Entwicklung von Planungswissen und Planungskompetenz

Während eine allgemein anerkannte und empirisch abgesicherte Modellierung der Planungskompetenz bislang noch nicht vorliegt (Weingarten, 2019), gibt es in den letzten Jahren immer mehr Bestrebungen, sowohl die allgemeindidaktische Planungskompetenz (Baer et al., 2011; König & Blömeke, 2009; König et al., 2015; Zierer et al., 2015) als auch fachspezifische Varianten des Konstrukts (Beck et al., 2008; Schröder et al., 2020; Stender, 2014; Tardent Kuster, 2019) zu modellieren und mittels unterschiedlicher Methoden zu erfassen. Dabei haben einige Studien das Wissen im Blick, das (angehende) Lehrkräfte hinsichtlich der Unterrichtsplanung besitzen. Andere Arbeiten fokussieren das Wissen und Können, das sich in konkreten Handlungssituationen zeigt (Performanz), um darauf Rückschlüsse auf die zugrundliegenden Kompetenzen zu ziehen.

Beck et al. (2008) entwickelten eine Intervention zur Steigerung der adaptiven Lehrkompetenz. Unter diesem Konstrukt verstehen sie „die situations- und individuumsspezifische Kompetenz einer Lehrperson, ihren Unterricht unter Beachtung der jeweiligen Lehrziele den individuellen Fähigkeiten der Lernenden anzupassen, sodass möglichst optimale Lernbedingungen für möglichst alle Lernenden geschaffen werden" (Beck et al., 2008, S. 66). Sie unterscheiden dabei zwischen den Teilbereichen adaptive Handlungskompetenz und adaptive Planungskompetenz. Letztere untersuchten sie mit Hilfe eines Vignettentests, in dem sie die offenen Antworten zur Vorgehensweise bei der Planung einer Unterrichtsstunde für das Fach Natur und Technik mit Hilfe eines Kategoriensystems analysierten. Zusätzlich untersuchten sie unter Zuhilfenahme eines Videotests die adaptive Handlungskompetenz und befragten die Schülerinnen und Schüler der unterrichteten Klassen bezüglich ihrer Lerneinstellungen und Unterrichtswahrnehmungen. Darüber hinaus wurden sowohl die Lehrpersonen als auch die Schülerinnen und Schüler einem Leistungstest unterzogen. Auf diese Weise wurden 32 Lehrkräfte der Interventionsgruppe (623 Schülerinnen und Schüler) und 18 Lehrkräfte der Kontrollgruppe (353 Schülerinnen und Schüler) untersucht. Die Ergebnisse zeigen eine schwache Korrelation der adaptiven Planungskompetenz mit dem Leistungszuwachs der Schülerinnen und Schüler hinsichtlich der Unterrichtsreihe (r = .30). Die varianzanalytische Untersuchung zeigt dagegen keinen signifikanten Einfluss einer hohen adaptiven Planungs- oder Handlungskompetenz auf den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler. Nur hohe Merkmalsausprägungen in beiden Bereichen (adaptive Planungs- und Handlungskompetenz) führen zu einem signifikanten Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler. Darüber hinaus korreliert die Planungskompetenz signifikant mit der adaptiven Handlungskompetenz. Daraus schließen die Autorinnen, dass die adaptive Lehrkompetenz als Ganzes, aber nicht

die beiden Teilkonstrukte alleine, Einfluss auf den themenbezogenen Lernerfolg haben. Bezüglich der Wirksamkeit der Intervention konnten die Forscher*innen sowohl Zuwächse der adaptiven Planungskompetenz der Lehrkräfte belegen als auch eine signifikant höhere Leistungssteigerung der Schülerinnen und Schüler andererseits feststellen.

Baer et al. (2011) stellen die Ergebnisse einer längsschnittlichen Studie in der Schweiz vor, in der das Unterrichtsplanungswissen von 22 bzw. 39 Lehramtsstudierenden der Primarschule im 1., 3. und 6. Semester während des Studiums sowie zu Beginn und am Ende des ersten Berufsjahres mit Hilfe eines Vignettentests (vgl. Beck et al., 2008) erfasst wurde. In dem Vignettentest wurden die Proband*innen aufgefordert, die in der Vignette genannte Person zu unterstützen und dabei ihre Planungsüberlegungen schriftlich festzuhalten. Zusätzlich untersuchten sie auf diese Weise auch das Planungswissen von elf an der Ausbildung beteiligten Praxislehrpersonen. Neben dem Planungswissen wurden ausgewählte Unterrichtsstunden videographiert. Sowohl die videographierten Unterrichtsstunden als auch die offenen Antworten im Rahmen des Vignettentests wurden mit Hilfe inhaltsanalytischer Verfahren ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass das Planungswissen entsprechend der Erwartungen während des gesamten Studiums von Jahr zu Jahr signifikant zunimmt. Die gemessene Qualität im Planungswissen der Studierenden erreicht am Ende ihres Studiums sogar ein vergleichbares Niveau wie das der untersuchten Praxislehrpersonen. Beim Übergang in den Beruf zeigt sich ein signifikanter Rückgang im Planungswissen, welches zum Ende des ersten Berufsjahres wieder leicht aber nicht signifikant ansteigt. In ihrer Untersuchung korrelierte der Gesamtwert im Planungswissenstest nur gering (r = .22) mit der Qualität der gehaltenen Unterrichtsstunde.

König und Kolleg*innen (2015) analysierten die schriftlichen Unterrichtsplanungen (Lehrproben) von insgesamt 106 angehenden Lehrkräften aus Berlin am Anfang und am Ende des Vorbereitungsdienstes. Die Unterrichtsentwürfe stammen aus 19 verschiedenen Fächern und wurden für die Klassen 1 bis 13 unterschiedlicher Schulformen konzipiert. Mit Hilfe ihres entwickelten Messinstruments (vgl. Kapitel 2.1.3.5) konnten sie erwartungskonform einen signifikanten Zuwachs in der Planungskompetenz der Proband*innen über den Vorbereitungsdienst hinweg messen. Ihre Untersuchungen ergeben ferner, dass der gewählte Ausschnitt der allgemeindidaktischen Planungskompetenz reliabel erfasst werden kann. Darüber hinaus errechneten sie signifikante Korrelationen zwischen der Planungskompetenz im ersten Messzeitpunkt mit der Abiturnote (r = - .31) und einer konstruktivistischen Sicht auf das Lehren und Lernen (r = .20) sowie zwischen der Planungskompetenz im zweiten Messzeitpunkt und einer transmissiven Lehr-Lern-Überzeugung (r = - .22). Die Autor*innen schließen durch diese Ergebnisse auf die Konstruktvalidität ihrer Messungen. Um die prognostische Validität sicherzustellen, wurden zusätzlich die schriftlichen Planungen von 22 angehenden Lehrkräften aus Köln erhoben und den Zusammenhang der Einschätzungen der unterrichteten Schülerinnen und Schüler zu Unterrichtsqualitätsmerkmalen mittels Regressionsanalyse untersucht. Die Planungskompetenz erweist sich als Prädiktor für das wahrgenommene Qualitätsmerkmal „Binnendifferenzierung“ (β = 0,369, $p \leq .05$).

Schröder et al. (2020) entwickelten im Rahmen des Projektverbunds ProfiLe-P+ einen Planungsperformanztest für die Physikdidaktik zum Thema „drittes Newtonsche

Axiom“. Die geplante Unterrichtsstunde sollte 45 Minuten umfassen, zwei vorgegebene inhaltsbezogene Lernziele berücksichtigen und ein Experiment beinhalten. Damit sollten die Wirkung des Lehramtsstudiums insbesondere fachpraktischer Phasen längsschnittlich untersucht und Zusammenhänge zwischen bedeutsamen Bereichen der professionellen Kompetenz analysiert werden. Um die erhobenen Planungsentwürfe auswerten zu können, wurde ein Kodiermanual entwickelt (vgl. Kapitel 2.1.3.5). Die Lehramtsstudierenden bearbeiteten die verschiedenen Tests sowohl zu Beginn als auch am Ende des Praktikumssemesters. Erste Auswertungen der Planungsentwürfe von 68 Proband*innen zeigen, dass der entwickelte Performanztest Veränderungen in der Planungsfähigkeit der Proband*innen sensitiv erfassen kann. Dabei kommt es zu einem signifikanten Anstieg mit geringer Effektstärke (d = .33). Der gleiche Trend zeigt sich für das fachdidaktische und pädagogische Wissen. Dabei korreliert die Planungskompetenz zu beiden Messzeitpunkten sowohl mit dem fachdidaktischen (r = .32 und .33) als auch mit dem pädagogischen Wissen (r = .36 und .25) signifikant, nicht aber mit dem erhobenen Fachwissen. Vergleichsuntersuchungen mit den Urteilen dreier externer Expert*innen (Fachleiter*innen) deuten auf die externe Validität des entwickelten Instruments hin.

Tardent Kuster (2019) untersuchte im Rahmen des Gesamtprojekts KUBeX die Qualität von erstellten Unterrichtsplanungen sowie von zugehörigen videographierten Planungsgesprächen. Ziel war es, die Wirkung einer Intervention zum Inhaltsbezogenem Peer-Coaching (Content-Focused Peer Coaching) auf das Planungshandeln der Teilnehmer*innen zu untersuchen. Von den 119 Studierenden (Deutschland: N = 66, Schweiz: N = 53) wurden 65 der Interventionsgruppe und 54 der Kontrollgruppe zugeteilt. Im Rahmen einer Planungsvignette sollten die Proband*innen nach der Intervention innerhalb von maximal drei Arbeitsstunden eine Doppelstunde zum Thema „Visuelle Wahrnehmung“ planen und diese in einem anschließenden Planungsgespräch besprechen. Zur Analyse der schriftlichen Planungen und der Planungsgespräche wurde im Rahmen des Projekts ein Ratingmanual entwickelt, das auf dem ERTE-Modell (vgl. Kapitel 2.1.3.3) basiert. Um Zusammenhänge mit anderen Bereichen der professionellen Handlungskompetenz zu untersuchen, wurde zusätzlich das Professionswissen der Studierenden an drei Messzeitpunkten erhoben. In einer Validierungsstudie auf Grundlage der Daten von 70 Studierenden konnte die Autorin die Validität des Ratingmanuals belegen. Jene Aspekte die auch im Planungsraster explizit aufgelistet sind, wurden qualitativ besser bearbeitet. Die Kontrollgruppe weist dabei insgesamt eine höhere Qualität in den Planungsmaterialien mit kleinen bis mittleren Effektstärken auf. Zudem gibt es hohe Korrelationen zwischen dem deklarativen fachdidaktischen Wissen und der Qualität des fachdidaktischen Wissens in den Planungsunterlagen.

Ehlert und Tepner (2021) untersuchten im Rahmen einer eintägigen Lehrkräftefortbildung zur Förderung der Planungskompetenz hinsichtlich selbstgesteuerter Experimente das entsprechende fachdidaktische Wissen von 67 Chemielehrkräften. Erste Ergebnisse zeigen einerseits, dass das entwickelte Messinstrument im Multiple-Choice–Multiple-Select-Format das Experiment-spezifische Planungswissen reliabel erfassen kann. Höchstsignifikante mittlere Effekte deuten andererseits auf die Wirksamkeit des entwickelten Fortbildungskonzepts hin.

Zusammenfassung

Die Planung von Lehr-Lern-Prozessen gehört zu den Kernaufgaben einer Lehrkraft. Da Unterricht stets ein komplexes Geschehen ist und die resultierenden Produkte (Lernerfolg, Motivation der Schülerinnen und Schüler etc.) von vielen Faktoren abhängen, kann auch die Planung selbst als komplexer, nicht linear, sondern iterativ ablaufender Entscheidungsprozess verstanden werden. Dabei ist es wichtig die zu treffenden Entscheidungen (Zielsetzungen, Inhalte, Methoden etc.) an wichtigen Vor- und Rahmenbedingungen festzumachen. Dementsprechend müssen Lehrkräfte über vielfältige Kompetenzen verfügen, um Lehr-Lern-Prozesse planen zu können. Die Planungskompetenz wird deshalb in der Schnittmenge der verschiedenen Bereiche der professionellen Handlungskompetenz verortet. Bei der Frage, welche Kriterien bei der Gestaltung von Lehr-Lern-Prozessen berücksichtigt werden sollten, gibt es unterschiedliche Sichtweisen. Empirische Ansätze versuchen Variablen zu identifizieren, welche nachweislich zu guten Lernergebnissen auf Seiten der Schülerinnen und Schüler führen. Aus diesen Variablen werden unterschiedliche Kriterienkataloge erarbeitet, welche als Orientierung bei der Planung, Durchführung und Reflexion von Unterricht dienen sollen. In der Allgemeinen Didaktik wird der Frage dagegen aus theoretisch-normativer Sicht begegnet und daraus Planungsmodelle entwickelt. Beide Ansätze weisen bei genauerer Betrachtung Ähnlichkeiten auf. Andere Autor*innen modellieren Unterrichtsplanungsmodelle aus fachdidaktischer Perspektive. Betrachtet man die Operationalisierungen der Planungskompetenz, welche im Rahmen der Entwicklung verschiedener Messinstrumente vorgenommen werden, so stellen sich die Ideen und Kriterien verschiedener Seiten als fruchtbringend heraus. Empirische Untersuchungen zeigen, dass die Erfassung der Konstrukte (Planungskompetenz bzw. -wissen) mittels inhaltsanalytischer Verfahren schriftlicher Planungen in aller Regel psychometrischen Gütekriterien genügt. Über verschiedene Ausbildungsabschnitte, welche als Lerngelegenheiten hinsichtlich der Unterrichtsplanung betrachtet werden können, konnten bereits mehrfach Kompetenzzuwächse beobachtet werden. Die vorgestellten Studien und Instrumente reichen dabei von einer allgemeindidaktischen Sicht bis hin zu einer fachdidaktischen Modellierung im Rahmen naturwissenschaftlicher Fächer. Im Falle der fachdidaktischen Operationalisierungen nimmt häufig das Experiment eine wichtige Rolle ein.

Die bisherigen Ausführungen haben die Planung und Gestaltung von Lehr-Lern-Prozessen aus ganzheitlicher Sicht in den Blick genommen. In der vorliegenden Studie soll die Planungskompetenz speziell in Bezug auf Experimentierprozesse für das Unterrichtsfach Chemie betrachtet werden.

2.2 Experimentelle Erkenntnisgewinnung im Fach Chemie

Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung umfasst, vereinfacht gesagt, alle systematischen Ansätze, die von Wissenschaftler*innen angewendet werden, um naturwissenschaftliche Fragen zu beantworten (Lederman & Lederman, 2012). Es gibt dabei nicht

die eine naturwissenschaftliche Methode, stattdessen existiert eine Vielzahl an unterschiedlichen methodischen Ansätzen (Lederman, Abd-El-Khalick, Bell & Schwartz, 2002; Lederman & Lederman, 2012; West, Schwinning & Denn, 2020), welche zwischen den jeweiligen Fachbereichen differieren können. Welche Methode als sinnvoll erachtet werden kann, hängt zudem von der Art und dem Inhalt der jeweiligen zugrundliegenden Fragestellung ab (Lederman & Lederman, 2012).

2.2.1 Das Experiment

Das Experiment nimmt aus epistemologischer Sicht eine herausragende Stellung ein, stellt es doch eine der wichtigsten neuzeitlichen Innovationen innerhalb der Naturwissenschaften dar (Gebhard, Höttecke & Rehm, 2017; Höttecke & Rieß, 2015). Im Vergleich zu anderen naturwissenschaftlichen Methoden – beispielsweise Beobachten, Vergleichen oder Messen – handelt es sich bei einem Experiment um einen noch stärker kontrollierten Ansatz. Bei Experimentierprozessen werden stets alle Parameter kontrolliert, welche einen Einfluss auf den Vorgang haben können. Aus diesem Grund gilt das Experiment als „Königsweg der Erkenntnis“ (Döring & Bortz, 2016, S. 194) und fungiert als die „primäre Methode zur Untersuchung kausaler Zusammenhänge“ (Schwichow & Nehring, 2018, S. 219). Ein kausaler Zusammenhang zwischen einem Ereignis und einem Effekt besteht dann, wenn das Ereignis dem Effekt vorausgeht, wenn das Ereignis mit dem Effekt im Zusammenhang steht und wenn es keine weiteren Erklärungen für den Effekt gibt (Andreas Schulz & Wirtz, 2012). Ziel beim Experimentieren ist dabei die „planmäßige Herbeiführung von (meist variablen) Umständen zum Zweck wissenschaftlicher Beobachtung“ (Janich, 1995, S. 621). Aufgrund dieser Planmäßigkeit unterscheiden sich experimentell gewonnene Erkenntnisse auch von zufälligen Entdeckungen (Vollmer, 2005) und weisen zudem eine höhere Validität bezüglich der Kausalität auf (Schwichow & Nehring, 2018). Experimente müssen dabei prinzipiell wiederholbar sein und zu reproduzierbaren Ergebnissen führen (Streller et al., 2019).

In der Schule wird das Experimentieren häufig auf das Prüfen von Hypothesen reduziert. Tatsächlich ist diese Vorgehensweise in der Wissenschaft nicht immer zielführend (Lederman & Lederman, 2012). Es gibt im Wesentlichen zwei grundsätzliche Untersuchungsphasen: eine explorative und eine konfirmatorische Phase (Andreas Schulz, Wirtz & Starauschek, 2012). Das explorative Experiment kommt in Situationen zum Einsatz, in denen durch fehlende Theorien, Begriffe oder Konzepte zunächst keine Kausalzusammenhänge vermutet bzw. abgeleitet werden können (Andreas Schulz et al., 2012; Steinle, 2004). Maurer und Rincke (2013) beschreiben das explorative Experiment folgendermaßen: Die Funktion besteht in der kontrollierten und systematischen Erkundung von Phänomenen, ausgehend von einer offenen und nicht primär theoriegeleiteten Ausgangssituation. Dabei steht zunächst nicht die Suche nach Erklärungen, sondern die Suche nach bestimmten beobachtbaren Zusammenhängen im Vordergrund. Ergebnis eines explorativen Experiments kann das Generieren begründeter Hypothesen zu den beobachteten Zusammenhängen und Regelmäßigkeiten sein. In Forschungsgebieten, in denen bis-

lang nur wenige gesicherte theoretische Erkenntnisse vorliegen, kann das explorative Experiment so einen Beitrag zur Begriffs-, Konzept- oder Theoriebildung leisten (Andreas Schulz & Wirtz, 2012).

Das konfirmatorische (auch hypothesentestendes oder hypothesengeleitetes) Experiment dient dagegen der Überprüfung der empirischen Gültigkeit vermuteter und in Form von Hypothesen verbalisierter kausaler Zusammenhänge (Andreas Schulz et al., 2012). Hieraus wird der Zusammenhang zwischen Theorie und Empirie (siehe Abbildung 2-9) deutlich, zwischen welchen im Rahmen wissenschaftlicher Forschung stets Übersetzungs- und Verknüpfungsprozesse stattfinden (Andreas Schulz & Wirtz, 2012).

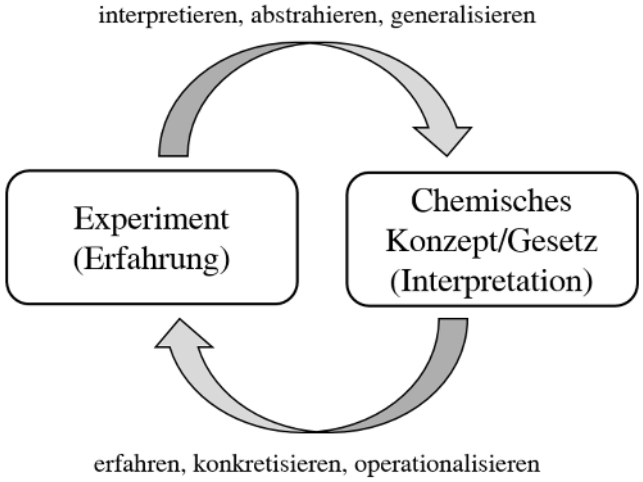


Abbildung 2-9: Zusammenhang Experiment und Theorie adaptiert nach Tesch und Duit (2004, S. 53)

Theorien dienen der Erklärung und Vorhersage konkreter Phänomene und können durch zielgerichtetes Experimentieren gestützt oder widerlegt werden (deduktives Vorgehen)[1]. Aus konkreten empirischen Befunden wiederum können induktiv verallgemeinerte Aussagen abgeleitet werden (Andreas Schulz & Wirtz, 2012), welche sich wiederum im Rahmen von Experimenten bewähren müssen.

Strategien beim Experimentieren

Wie bereits angesprochen, dienen hypothesengeleitete Experimente der Überprüfung kausaler Wirkzusammenhänge. Dies macht eine anfängliche Identifikation und Operationalisierung von Merkmalen bzw. Variablen nötig, welche im Rahmen eines Experiments beobachtet, manipuliert oder kontrolliert bzw. eliminiert werden müssen. Der Effekt, der beobachtet werden soll, wird dabei als abhängige Variable (AV; auch Messgröße) bezeichnet. Das Ereignis, dessen Wirkung untersucht werden soll, nennt man unabhängige Variable (UV; auch Einflussgröße) (Wellnitz & Mayer, 2013). Mit diesen Begriffen wird zum Ausdruck gebracht, dass „Veränderungen der einen (abhängigen) Variablen mit dem

[1] Wie Chalmers und Bergemann (2007) beschreiben, war Karl Popper der bekannteste Vertreter des Falsifikationismus. In dieser Strömung gelten Theorien nicht als wahr, sondern haben nur so lange Bestand, bis sie durch Beobachtung oder Experiment widerlegt wurden. „Gute“ wissenschaftliche Theorien zeichnen sich demnach durch ihre Falsifizierbarkeit aus.

Einfluss einer anderen (unabhängigen) Variablen erklärt werden sollen“ (Bortz & Döring, 2006, S. 3). Alle anderen potentiellen Einflussfaktoren (weitere UVs) auf die abhängige Variable werden als Störvariablen (auch Störgrößen) bezeichnet und müssen im Rahmen des experimentellen Vorgehens kontrolliert werden. Dabei muss nach Andreas Schulz et al. (2012) folgendermaßen vorgegangen werden: Die unabhängige Variable wird vom Experimentator aktiv manipuliert. Gleichzeitig müssen alle weiteren Variablen, die möglicherweise einen Einfluss auf die Messgröße haben, entweder konstant gehalten oder eliminiert werden. Daraufhin werden systematische Unterschiede und Veränderungen in der abhängigen Variablen beobachtet und dokumentiert. Diese Kontrolle weiterer Ursache-Wirkungs-Beziehungen macht es erst möglich, Veränderungen der abhängigen Variable eindeutig auf die Manipulation der unabhängigen Variable zurückzuführen und wird als Variablenkontrollstrategie (VKS; auch Strategie der isolierenden Variablenkontrolle = IVK) bezeichnet (Künsting, Thillmann, Wirth, Fischer & Leutner, 2008; Schwichow, Croker, Zimmerman, Höffler & Härtig, 2016; Schwichow & Nehring, 2018). Je nach Eigenschaften der Variablen lässt sich bei der Variablenkontrolle zwischen zwei Ansätzen unterscheiden (Künsting et al., 2008): Ist eine Variable so beschaffen, dass sie entweder vorhanden ist oder nicht (z. B. Sonnenlicht), dann kann der Einfluss einer anderen Variablen untersucht werden, in dem die erste Variable innerhalb des Experiments vollständig eliminiert wird (IVK-within). Kann eine Variable dagegen grundsätzlich nicht eliminiert werden (z. B. Temperatur), so kann der Einfluss einer anderen Variablen nur untersucht werden, in dem in einem zweiten Experiment die Ausprägung der ersten Variable konstant gehalten wird und die beiden Experimentieransätze miteinander verglichen werden (IVK-between). Die Variablenkontrollstrategie spielt dabei in nahezu allen Teilprozessen eines Experiments eine wichtige Rolle (Schwichow, Christoph & Härtig, 2015). Kann der Einfluss verschiedener Variablen auf die Messgröße nicht voneinander getrennt werden, so spricht man von einem konfundierten Experiment. Bei konfundierten Variablen kann der ursprünglich fokussierte Wirkzusammenhang nicht eindeutig festgestellt werden, da potentielle alternative Zusammenhänge die Untersuchungsergebnisse verfälschen (Andreas Schulz et al., 2012). Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn bei der Untersuchung der Auswirkung einer Temperarturveränderung auf die Stromstärke einer galvanischen Zelle gleichzeitig sowohl die Temperatur als auch die Eintauchtiefe der Elektroden verändert wird (Telser, 2019). In diesem Fall hätte sowohl die Temperaturveränderung als auch die Veränderung der Eintauchtiefe der Elektroden einen nicht voneinander trennbaren Einfluss auf die gemessene Stromstärke. Eine eindeutige Aussage über die Auswirkung der Temperaturveränderung wäre daher in diesem Fall nicht möglich.

Zur Absicherung experimentell gesammelter Befunde werden in der Regel Kontrollexperimente in Form von positiven oder negativen Blindproben durchgeführt (Streller et al., 2019). Diese kommen dann zum Einsatz, wenn überprüft werden soll, ob die gewählte Nachweismethode, die Reaktion oder das Gerät auch zuverlässig funktionieren. Einerseits muss durch Zugabe der Analysesubstanz sichergestellt werden, dass die gewählte Analysemethode die Substanz auch wirklich nachweisen kann (Ritgen, 2019). Andererseits muss eine Methode oder ein Test auch negativ ausfallen, wenn die Analysesubstanz gesichert nicht anwesend ist (Ritgen, 2019). Zudem müssen – wie oben bereits

ausgeführt – die aus Experimenten gewonnenen Ergebnisse reproduzierbar sein. Um zufällige oder systematische Fehlerquellen auszuschließen, müssen Experimente daher stets wiederholt werden. Erst die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse lässt eine verlässliche Aussage über die untersuchten kausalen Zusammenhänge zu.

Neben der Unterscheidung zwischen hypothesengeleiteten und explorativen Experimenten wird in der Chemie zwischen qualitativen und quantitativen Untersuchungen und Experimenten unterschieden. Bezogen auf die oben erwähnten Variablen bedeutetet dies, dass kausale Zusammenhänge untersucht werden, in dem geprüft wird, ob überhaupt ein Zusammenhang zwischen zwei Variablen besteht (Wellnitz & Mayer, 2013). Die Ergebnisse ermöglichen dann eine Ja/Nein Antwort auf die zugrundliegende qualitative Fragestellung (Frischknecht-Tobler & Labudde, 2019). Bei quantitativen Untersuchungen werden dagegen die genauen Werte der Variablen erhoben und deren kausaler Zusammenhang untersucht (Wellnitz & Mayer, 2013). Bei dieser Vorgehensweise ist neben dem genauen Beobachten auch noch das Beherrschen der jeweiligen Messmethode erforderlich (Frischknecht-Tobler & Labudde, 2019).

Forschungszyklus und Phasen beim Experimentieren

Vor allem im schulischen und fachdidaktischen Kontext ist man bemüht, einen typischen Ablauf von Experimentierprozessen zu modellieren, um Schülerinnen und Schülern den Zugang zum Experimentieren als Methode naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung zu erleichtern oder experimentelle Kompetenzen analysieren zu können. Genauso wenig wie „die“ wissenschaftliche Methode existiert, gibt es auch nicht „den einen“ Ablauf, den alle Naturwissenschaftler*innen in ihren Untersuchungen abarbeiten und verfolgen (Lederman et al., 2002). Es muss also festgehalten werden, dass es sich bei den im Folgenden vorgestellten Schemata um didaktisch reduzierte und idealisierte Modelle naturwissenschaftlicher Forschung bzw. naturwissenschaftlicher Experimente handelt (Bohrmann, 2017). Der vorgestellte Teilprozessansatz folgt der Überlegung, dass naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnungsprozesse und die damit verbundenen wissenschaftlichen Denkprozesse in verschiedene Teilprozesse untergliedert werden können (Gut-Glanzmann & Mayer, 2018). Die Abfolge orientiert sich dabei an einem Vorgehen, wie es in naturwissenschaftlichen Arbeiten publiziert wird. Solche Forschungs-Publikationen sind jedoch „keine Abbilder dessen, wie in Laboren, Büros und Besprechungsräumen tatsächlich gearbeitet worden ist“ (Höttecke & Rieß, 2015, S. 131). Dementsprechend sollten sie eher als nachträgliche Rekonstruktionen verstanden werden (Höttecke & Rieß, 2015). Diesem Umstand zum Trotz kann eine Vermittlung eines aus epistemologischer Sicht logischen Ablaufs von Untersuchungsmethoden im Rahmen von Unterricht sinnvoll sein, da dies zu einem strukturierteren Vorgehen der Schülerinnen und Schüler und dadurch zu verbesserten Leistungen führen kann (Wahser & Sumfleth, 2008).
Der Experimentierzyklus (Abbildung 2-10) kann beispielsweise in die Teilprozesse Fragestellung, Hypothese, Planung, Durchführung, Datenauswertung, Schlussfolgerung bzw. Interpretation sowie Reflexion unterteilt werden (Gut-Glanzmann & Mayer, 2018).

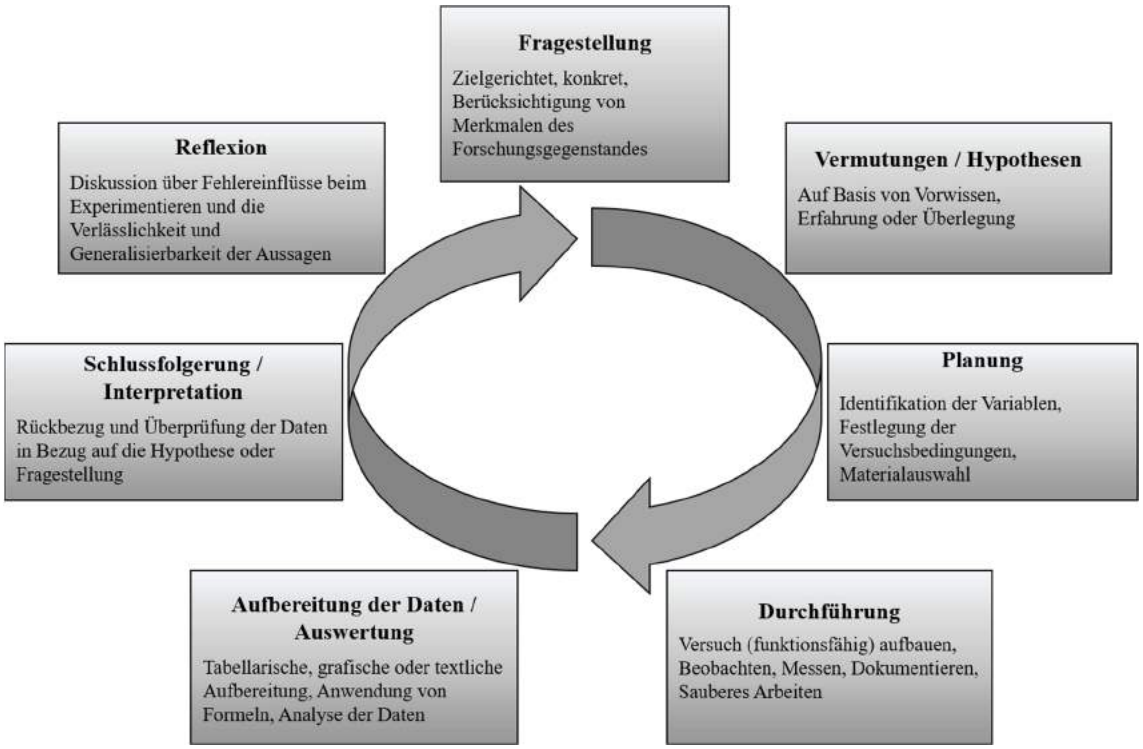


Abbildung 2-10: Experimentierzyklus mit Teilprozessen (adaptiert nach Bohrmann (2017, S. 22), Maiseyenka (2014), Schreiber, Theyßen und Schecker (2009))

Die einzelnen Komponenten des Experimentierzyklus sind dabei nicht unabhängig voneinander, sondern bauen aufeinander auf. Beispielsweise basieren sowohl die Formulierung einer Hypothese (beim hypothesentestenden Experimentieren) als auch methodische Entscheidungen im Rahmen der Planung auf der spezifischen Fragestellung. Die Durchführung wiederum basiert auf den Überlegungen, die im Rahmen der Planung angestellt wurden. In der Auswertung werden die erhobenen Daten analysiert und aufbereitet, bevor diese im Rahmen der Schlussfolgerung auf die anfängliche Hypothese bzw. Fragestellung bezogen werden. In der Reflexion wird der Experimentierprozess in den Blick genommen und eine Einschätzung hinsichtlich potentieller Fehlereinflüsse und der Verlässlichkeit der Daten vorgenommen. Unabhängig davon, ob hypothesengeleitet oder explorativ experimentiert wird, steht zu Beginn einer experimentellen Untersuchung also stets eine Frage- oder Problemstellung (Lederman & Lederman, 2012). Eine wissenschaftliche Fragestellung unterscheidet sich dabei von einer Hypothese insofern, als dass erstere „noch nicht auf eine empirische Prüfbarkeit bzw. ein bestimmtes experimentelles Design hin formuliert [wurde] und damit insgesamt weiter gefasst [ist] als die Hypothese“ (Grube, 2010, S. 4).

Je nachdem für welchen Zweck das jeweilige Modell entwickelt wurde und welche Prozesse dabei im Fokus stehen, unterscheiden sich die vorgenommenen Unterteilungen der verschiedenen Konzeptualisierungen (Gut-Glanzmann & Mayer, 2018). Wie in Tabelle 2-2 zu sehen ist, decken die Teilprozesse in den vorgestellten Arbeiten jeweils ähnliche Bereiche ab (sichtbar an den grau schattierten Feldern). Diese unterscheiden sich hauptsächlich hinsichtlich der Gruppierung der einzelnen Phasen. Dabei ist festzustellen,

dass zwar die Anzahl der Oberbegriffe variiert, die einzelnen Teilprozesse selbst jedoch in den meisten Fällen berücksichtigt werden. Die Teilprozesse *Versuch (funktionsfähig) aufbauen* und *Reflexion* sind dabei in den gewählten Beispielen vergleichsweise selten explizit erwähnt.

Tabelle 2-2: Exemplarische Übersicht zu unterschiedlichen Unterteilungen von Experimentierprozessen in Anlehnung an Emden (2011), Wellnitz et al. (2012) und Stiller (2015)

Autor*innen	**Problem oder Fragestellung klären oder entwickeln**	**Vermutung / Hypothese aufstellen**	**Planung**	**Versuch (funktionsfähig) aufbauen**	**Durchführung (Beobachten, Messen, Dokumentieren)**	**Daten aufbereiten / Auswertung**	**Schlussfolgerung / Interpretation**	**Reflexion***
Klahr und Dunbar (1988)			#					
Lunetta (1998)								
Chinn und Malhotra (2002)								
Hofstein (2004)								
Walpuski (2006)			#					
Mayer und Ziemek (2006)								
Kipnis und Hofstein (2008)								
Schreiber et al. (2009)								
Capps und Crawford (2013)								
Maiseyenka (2014)								
Nehring, Stiller, Nowak, Upmeier zu Belzen und Tiemann (2016)			#					
Dickmann (2016)								

* = Reflexion über den Experimentierprozess und die Verlässlichkeit der gewonnenen Daten
\# = *Versuch (funktionsfähig) aufbauen* nicht explizit genannt

Eines der am häufigsten zitierten Modelle ist das SDDS-Modell (Scientific Discovery as Dual Search) von Klahr und Dunbar (1988). In diesem modellieren die Autoren ausgehend von ihren Untersuchungen wissenschaftliche Denkprozesse als die Suche in zwei verwandten und im Zusammenhang stehenden Problemräumen: im Hypothesenraum und im Experimentierraum (Abbildung 2-11). Das Modell fußt dabei auf mehreren Komponenten, welche die Prozesse innerhalb der Problemräume oder zwischen den beiden Problemräumen begleiten. Unterteilt wird der Experimentierprozess in diesem Modell in die Komponenten Suche im Hypothesenraum (1), Testen von Hypothesen (2) sowie Analyse von Evidenzen (3).

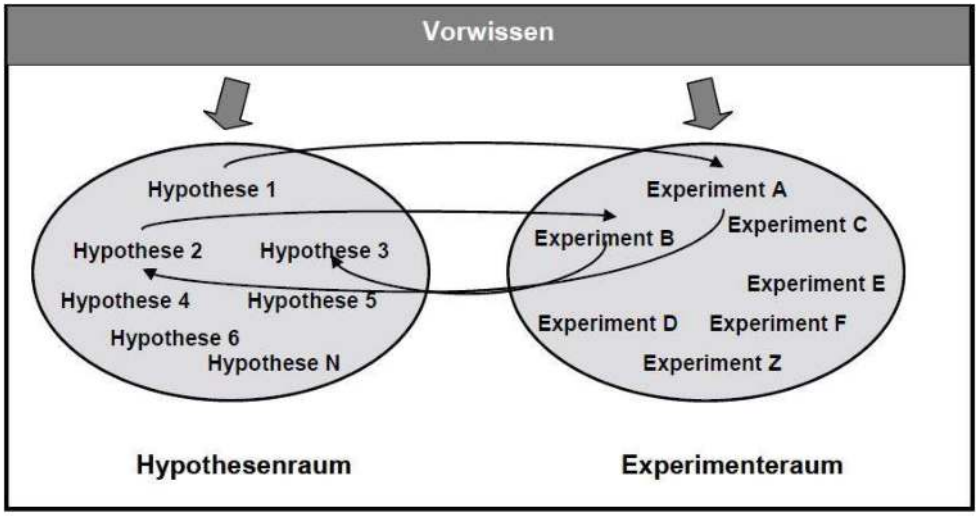


Abbildung 2-11: Prozesse des SDDS-Modell (Gößling, 2010, S. 17)

Der Hypothesenraum umfasst dabei alle entweder durch Vorwissen bzw. Vorerfahrung gewonnenen oder durch Exploration generierten Hypothesen zu einem bestimmten Problem. Bei der Bildung oder Erweiterung von Hypothesen wird dementsprechend entweder auf Vorwissen, auf die Ergebnisse vorangegangener Experimente oder die durch neue explorative Experimente generierten und generalisierten Ergebnisse zurückgegriffen. Letzteres macht wiederum die Suche im Experimentierraum nötig. In Abbildung 2-11 wird dieser Vorgang anhand des Pfeils von *Experiment A* auf *Hypothese 2* illustriert. Damit wird in diesem Modell innerhalb der *Suche im Experimentierraum* die Rolle des explorativen Experiments berücksichtigt. Das Ergebnis der Suche im Hypothesenraum ist dann eine konkret ausformulierte und überprüfbare Hypothese, welche die Grundlage für deren Testung darstellt (Klahr & Dunbar, 1988). Innerhalb der Komponente *Testen von Hypothesen* muss ein passendes Experiment zur vorliegenden Hypothese geplant werden. Die Planung von Experimenten findet im SDDS-Modell durch die Suche im Experimentierraum statt und beginnt dabei immer mit der Fokussierung auf bestimmte Aspekte der vorliegenden Situation. Im Rahmen des Testens von Hypothesen stellt die Hypothese selbst den Ausgangspunkt der Fokussierung dar. Gibt es keine konkreten Hypothesen oder fehlt ein theoretischer Rahmen – zum Beispiel im Rahmen explorativer Experimente zur Hypothesengenerierung –, so werden bedeutsam erscheinende oder rein willkürlich ausgewählte Aspekte fokussiert. Auf der Grundlage der spezifischen Hypothese und des

konkret geplanten Experiments müssen sodann Vorhersagen bzw. Erwartungen hinsichtlich des Ausgangs des Experiments formuliert werden. Das Experiment wird daraufhin durchgeführt und die gewonnenen Ergebnisse beobachtet und beschrieben bzw. dokumentiert, um diese anschließend mit der formulierten Erwartung zu vergleichen. Aus diesem Vergleich entstehen empirische Daten, welche für oder gegen die Hypothese sprechen und als Input für die nachfolgende Komponente (Analyse von Evidenzen) dienen. Innerhalb dieses Prozesses wird entschieden, ob die empirischen Belege ausreichend sind, um die aktuelle Hypothese anzunehmen oder zu verwerfen. Wird die Hypothese auf der Grundlage der Daten angenommen, so stoppt der Prozess und endet mit der Annahme, dass die Hypothese den kausalen Zusammenhang korrekt beschreibt. Wird die Hypothese verworfen, muss entweder eine neue Hypothese auf Basis der theoretischen Annahmen formuliert werden (Suche im Hypothesenraum) oder der theoretische Rahmen hinterfragt und durch Exploration neu untersucht werden. Trifft keiner der beiden Fälle zu (weder Annahme noch Ablehnung der Hypothese) so muss die vorliegende Hypothese weiter geprüft werden (Hammann, Phan & Bayrhuber, 2007). Ein zughöriges Organigramm, das die einzelnen Komponenten zueinander in Beziehung setzt, findet sich bei Klahr und Dunbar (1988) und ins Deutsche übersetzt beispielsweise bei Emden (2011). Für das hypothesentestende Vorgehen veranschaulicht das von Telser (2019) auf Grundlage von Walpuski (2006) erstellte Flussdiagramm den oben beschriebenen Ablauf:

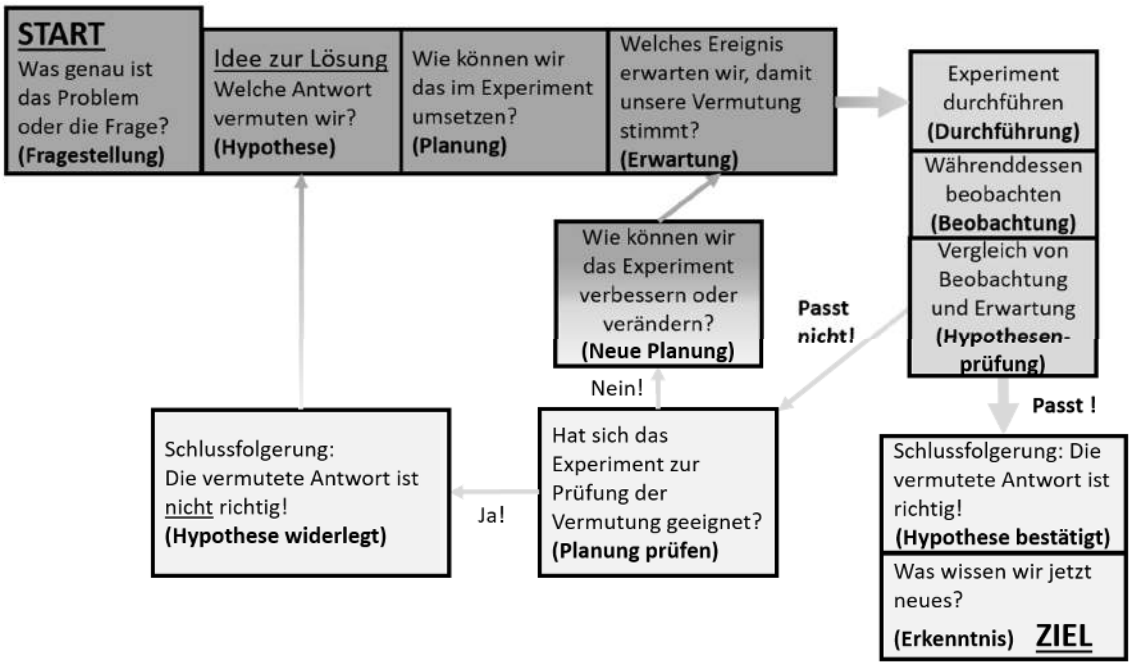


Abbildung 2-12: Flussdiagramm hypothesengeleitetes Experimentieren (Telser, 2019, S. 57)

2.2.2 Einsatz von Experimenten im Unterricht

Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen – im Speziellen Experimente – sind fester Bestandteil naturwissenschaftlichen Unterrichts und nehmen dementsprechend im

Chemieunterricht seit je her eine besondere Rolle ein. Der aktuelle Stellenwert wird beispielsweise deutlich, wenn man einen Blick in die Kompetenzbereiche der nationalen Bildungsstandards (NBS) für das Fach Chemie wirft. Neben Fachwissen (Sachkompetenz), Kommunikation und Bewertung wird hier der Kompetenzbereich *Erkenntnisgewinnung* sowohl für den mittleren Schulabschluss als auch für die allgemeine Hochschulreife aufgeführt (Kultusministerkonferenz, 2020; Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005b). In diesem Kompetenzbereich sind konkrete naturwissenschaftliche Methoden und Denkweisen sowie Aspekte der experimentellen Methode verankert, welche sich an dem oben beschriebenen Forschungszyklus orientieren (Tabelle 2-3).

Tabelle 2-3: Erkenntnisgewinnung in den NBS für den mittleren Schulabschluss (Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005b, S. 12)

	Die Schülerinnen und Schüler ...
E1	erkennen und entwickeln Fragestellungen, die mit Hilfe chemischer Kenntnisse und Untersuchungen, insbesondere durch chemische Experimente, zu beantworten sind,
E2	planen geeignete Untersuchungen zur Überprüfung von Vermutungen und Hypothesen,
E3	führen qualitative und einfache quantitative experimentelle und andere Untersuchungen durch und protokollieren diese,
E4	beachten beim Experimentieren Sicherheits- und Umweltaspekte,
E5	erheben bei Untersuchungen, insbesondere in chemischen Experimenten, relevante Daten oder recherchieren sie,
E6	finden in erhobenen oder recherchierten Daten, Trends, Strukturen und Beziehungen, erklären diese und ziehen geeignete Schlussfolgerungen,
E7	nutzen geeignete Modelle (z.B. Atommodelle, Periodensystem der Elemente) um chemische Fragestellungen zu bearbeiten,
E8	zeigen exemplarisch Verknüpfungen zwischen gesellschaftlichen Entwicklungen und Erkenntnissen der Chemie auf.

Um mehr Verbindlichkeit hinsichtlich dieser Kompetenzen zu schaffen, hielten diese mittlerweile Einzug in die Chemie-Lehrpläne nahezu aller Schulformen und Bundesländer in Deutschland (Emden, 2011). Im LehrplanPlus in Bayern wurde dies beispielsweise in Form des eigenständigen Lernbereichs „Wie Chemiker Denken und Arbeiten“ bzw. „Naturwissenschaftliches Arbeiten“ (Natur und Technik in der Mittelschule) in jeder Jahrgangsstufe realisiert (Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung [ISB], 2019). In gleicher Weise nimmt die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung beispielsweise auch in den amerikanischen Bildungsstandards eine wichtige Stellung ein (Emden, Koenen & Sumfleth, 2016).

In den obigen Ausführungen wird das Experimentieren aus einer prozessualen Sicht heraus betrachtet und beschrieben. Im Rahmen des Kompetenzbereichs *Erkenntnisgewin-*

nung werden spezielle Teilkompetenzen formuliert, die Schülerinnen und Schüler hinsichtlich naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnungsprozesse im Chemieunterricht entwickeln sollen. Dabei wird das „Experimentieren" im naturwissenschaftlichen Unterricht mit einer Vielzahl an unterschiedlichen Zielsetzungen verbunden und „Experimente" können im unterrichtlichen Geschehen verschiedenste Funktionen einnehmen (Barzel, Reinhoffer & Schrenk, 2012; Rincke, 2016; Alexandra Schulz, 2011). Bevor diese Zielsetzungen und Funktionen genauer beleuchtet werden, sei an dieser Stelle die Kritik angemerkt, dass sowohl im Alltag als auch häufig in der Schule ein undifferenzierter und wenig elaborierter Experiment-Begriff vorherrscht. *Experimentieren* wird dabei – anders als in Kapitel 2.2.1 ausgeführt – mit etwas ausprobieren oder testen gleichgesetzt (Gyllenpalm & Wickman, 2011). Gleichzeitig werden häufig auch alle Tätigkeiten, die im Labor durchgeführt werden, unter dem Begriff *Experiment* zusammengefasst. Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass Lehrkräfte „das Experimentieren eher durch die Brille des Fachwissens und seiner Vermittlung als durch die Brille des wissenschaftlichen Prozesses" (Gebhard et al., 2017, S. 24–25) sehen. So bedeutsam der vielfältige Einsatz von *Experimenten* im Chemieunterricht auch sein mag, ist es möglicherweise gerade diese Vielfalt, die ursächlich für die beschriebene sprachliche Ungenauigkeit ist. Um sich im naturwissenschaftlichen Unterricht der tatsächlichen Forschung zu nähern, fordern Höttecke und Rieß (2015) dementsprechend die Verwendung und Vermittlung eines elaborierteren Experiment-Begriffs in Schule und Fachdidaktik. Gelegentlich findet man in der fachdidaktischen Literatur deshalb eine begriffliche Abgrenzung zwischen Versuch und Experiment (Streller et al., 2019) oder sogar noch differenzierter zwischen Experimentieren, Versuchen, Laborieren, Explorieren Beobachten und noch einigen mehr (Barzel et al., 2012). Hinsichtlich dieser begrifflichen Einteilungen herrscht keineswegs Einigkeit, sodass trotz der genannten Kritik auch im Folgenden der Einfachheit halber *Experimentieren* als Oberbegriff verwendet wird.

Ziele und Funktionen von Experimenten

Als grundsätzliche Zielsetzung aller Laboraktivität nennen Millar, Tiberghien und Le Maréchal (2003) das Herstellen einer Verbindung zwischen dem Bereich der „realen Objekte und beobachtbaren Dinge" und dem Bereich der „Ideen". Hodson (1996) nennt darüber hinaus die drei grundlegenden Zieleebenen „help students learn science", „help students learn about science" und „enable students to do science" (Hodson, 1996, S. 756). Experimentelle Lernumgebungen sollen demnach dazu dienen Schülerinnen und Schülern Fachwissen, ein adäquates Verständnis über die Natur der Naturwissenschaften sowie naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen zu vermitteln. Eine internationale Umfrage von Lehrpersonen der Sekundarstufe II und der Universitäten in den Fächern Biologie, Chemie und Physik bestätigt diese drei Ebenen (Welzel et al., 1998). Unter Verweis auf diese Studie und auf einige weitere Arbeiten stellt Alexandra Schulz (2011) übergeordnete Funktionen von Experimenten vor, welche sie in fachliche, pädagogische und psychologische Dimensionen einteilt (Tabelle 2-4). Vergleichbare Ziele und Funktionen formulieren überdies auch Schweingruber, Hilton und Singer (2006), Barzel et al.

(2012) sowie Rieß und Robin (2012). Daraus wird deutlich, dass der Einsatz von Experimenten nicht nur zur Vermittlung von konkreten Fachinhalten relevant ist, sondern zudem übergeordnete Kompetenzen wie Problemlösen sowie lernrelevante Aspekte wie Interesse und Motivation begünstigen soll.

Tabelle 2-4: Funktionen von Experimenten (Alexandra Schulz, 2011, S. 31–32)

Fachliche Dimension	**Pädagogische Dimension**	**Psychologische Dimension**
Vermittlung von Fachwissen	Selbstwirksamkeitserfahrung (Kompetenz- und Erfolgserlebnisse durch herausfordernde, aber lösbare Probleme)	Lernen durch praktische Erfahrung
Konstruieren und Modellieren bei der Generierung von Wissen	Interessensentwicklung	Problemlösen
Reflexion der Prozesse (Verallgemeinerung, Anwendung, Transfer)	Erhöhung der Motivation	Abstraktionsprozesse
Experimentelle Fähigkeiten erwerben (Beobachtung, Organisation, Geschicklichkeit)	Steigerung der sozialen Kompetenz (Kooperation und Kommunikation)	Positiver Einfluss auf Behaltensleistung der Schüler
Kennenlernen von Methoden wissenschaftlichen Denkens	Förderung der Persönlichkeitsentwicklung	
Vertraut werden mit Phänomenen	Entwicklung eines Urteilsvermögens	

Darüber hinaus können Experimente zur Simulation eines technischen Verfahrens verwendet werden (Hermanns & Wambach, 1984). Ergänzend zu den bereits genannten Zielen und Funktionen sind noch das Wecken einer Fragehaltung, das Überprüfen von Problemlösevorschlägen, Gesetzen, Theorien oder Hypothesen, das Generieren von Hypothesen, das Generalisieren, das Schulen des Umgangs mit Materialien und das Veranschaulichen von Vorstellungen durch Analogien zu nennen (Hermanns & Wambach, 1984; Rincke, 2016). Neben dieser Unterteilung lässt sich der Einsatz von Experimenten auch hinsichtlich ihrer Funktionen für den unterrichtlichen Lehr-Lern-Prozess einordnen. So können Experimente im Unterricht sowohl zur Einführung eines bestimmten Themengebiets, für die Erarbeitung einer Problemstellung oder deren Lösung, für die Vertiefung von Inhalten und deren Wiederholung als auch zur Leistungsüberprüfung eingesetzt werden (Hopf, 2007).

Realisierungsmöglichkeiten im Unterricht

Zur Erreichung der unterschiedlichen Ziele gibt es im Wesentlichen zwei Wege: entweder wird das Experiment als Unterrichtsmethode eingesetzt oder das Experiment selbst steht als Lerngegenstand im Fokus des Unterrichts (Barzel et al., 2012). Als Unterrichtsmethode findet das Experiment Verwendung, um den Kompetenzerwerb der Schülerinnen und Schüler zu unterstützen. In diesem Sinne wird es eingesetzt, um Begriffe oder Phänomene einzuführen, Lerngegenstände zu veranschaulichen oder plausibel zu machen. Diese Variante hat nicht den Anspruch das Experiment als wissenschaftliche Methode nachzuzeichnen, sondern setzt es auf unterschiedliche Art und Weise als wichtige Vermittlungsstrategie im naturwissenschaftlichen Unterricht ein. Ist das Experiment dagegen selbst der Lerngegenstand, geht es um die Vermittlung einer epistemologisch „richtigen" Abfolge von Experimentierphasen, der dafür nötigen experimentellen Kompetenzen oder der Natur der Naturwissenschaften (Hopf, 2007). Darüber hinaus sollen Schülerinnen und Schüler durch den unterrichtlichen Einsatz naturwissenschaftlicher Untersuchungsmethoden nachhaltiges Handlungswissen erwerben, das ihnen die Erschließung neuer fachspezifischer Inhalte und damit die Gewinnung neuen Wissens ermöglicht (Emden, 2011). Im deutschsprachigen Raum spricht man in diesem Zusammenhang auch vom forschenden Lernen (Streller et al., 2019). Dieser Ansatz wurde bereits vor Jahrzehnten zum Beispiel in Form des „forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahrens" von Schmidkunz und Lindemann (1992) verfolgt und erhält durch die Einführung der oben bereits aufgeführten Bildungsstandards auch in den Fachkollegien neue Aktualität (Streller et al., 2019). Im englischsprachigen Raum gibt es viele Begrifflichkeiten, welche das forschende Lernen bzw. problemlösende Vorgehen umschreiben. Beispielsweise inquiry-based science education (Streller et al., 2019), inquiry-based activities (Domin, 1999) oder scientific discovery learning (de Jong & van Joolingen, 1998; Reid, Zhang & Chen, 2003). Auch wenn sich diese Ansätze teilweise in kleinen Details unterscheiden, so meinen sie doch alle, dass Teilprozesse experimenteller Untersuchungen mehr oder weniger selbstständig von Schülerinnen und Schülern durchlaufen werden (Hofstein, 2004).

Der Einsatz von Experimenten im Unterricht unterscheidet sich aber nicht nur hinsichtlich unterschiedlicher Zielsetzungen und Funktionen, auch die konkrete unterrichtliche Umsetzung lässt diverse Variationsmöglichkeiten zu. Wie Barzel et al. (2012) zusammenfassen, betrifft dies etwa das Fragen nach den Hauptakteuren, dem verwendeten Material, der Dauer der Experimentiereinheit, der Reichweite der Aussagen sowie der Nähe zum Objekt (siehe Tabelle 2-5).

Tabelle 2-5: Einsatz von Experimenten im Unterricht (Barzel et al., 2012, S. 118)

Einteilung nach …	entsprechende unterrichtliche Organisation
dem Hauptakteur	Schülerexperiment
	Lehrerexperiment (Demonstrationsexperiment)
dem Material / apparativen Aufwand	Alltagschemikalien
	Labormaterialien

der Dauer	Kurzzeitexperiment
	Langzeitexperiment
der Reichweite der Aussagen	Qualitative Experimente
	Quantitative Experimente
der Nähe zum Objekt	direktes Experiment
	Modellexperiment
	Gedankenexperiment

Dabei ist vor allem die Unterscheidung zwischen (Lehrer-)Demonstrationsexperimenten und Schülerexperimenten sehr prominent, da mit ihr auch Entscheidungen über die Sozialform sowie organisatorische Entscheidungen (Auswahl der Chemikalien und Materialen, Unterrichtszeit etc.) zusammenhängen. Demonstrationsexperimente gelten als geeignet, wenn besonders bedeutungsvolle Sachverhalte und Phänomene aufgezeigt und verdeutlicht werden sollen (Pfeifer, Lutz & Bader, 2002). Der Aufbau sollte dabei möglichst prägnant und wahrnehmungsaktiv sowie verständlich und verfolgbar sein. Dies lässt sich etwa durch Verwendung von ausreichend großen Versuchsapparaturen oder von Hilfsmitteln wie Projektor und Dokumentenkamera realisieren (Nerdel, 2017; Pfeifer et al., 2002). Lehrerdemonstrationen bieten die Vorteile, dass materialsparend und zeiteffizient gearbeitet werden kann, dass auch Chemikalien verwendet werden können, welche für Schülerinnen und Schüler nicht freigegeben sind (z. B. Alkalimetalle) (Nerdel, 2017) und dass sich Schülerinnen und Schüler auf die bloße Beobachtung der Phänomene konzentrieren können, da die Durchführung von der Lehrkraft (ggf. auch durch einzelne Schülerinnen und Schüler) übernommen wird. Bei Schülerexperimenten hantieren dagegen Schülerinnen und Schüler allein oder in Kleingruppen mehr oder weniger selbständig mit den Gerätschaften, Materialien oder Chemikalien (Barzel et al., 2012; Hofstein, Kipnis & Abrahams, 2013; Hopf, 2007; Katchevich, Mamlok-Naaman & Hofstein, 2014; Wirth, Thillmann, Künsting, Fischer & Leutner, 2008). Dabei gibt es keineswegs „das“ Schülerexperiment. Es handelt sich hierbei eher um einen Sammelbegriff für ein Konzept, das die Schülerinnen und Schüler als Hauptakteur*innen beim Experimentieren sieht. Wie Schulexperimente im Allgemeinen auch, können sich Schülerexperimente je nach Alter der Schülerinnen und Schüler, gewählter Gruppengröße, angestrebter Zielsetzungen, Funktionen, Implementierung in den Unterricht und Art der verwendeten Chemikalien und Materialien unterscheiden (Hopf, 2007). Darüber hinaus finden Schülerexperimente sowohl im Rahmen des Regelunterrichts als auch beispielsweise in Schülerlaboren als außerschulisches Lernangebot statt. Ein sehr bedeutsames Unterscheidungskriterium in Bezug auf die kognitive Aktivierung der Schülerinnen und Schüler ist der Grad an Selbstständigkeit bzw. Offenheit (siehe Kapitel 2.3.3) der Experimentierumgebung (Hopf, 2007). Sehr weit verbreitet ist das Abarbeiten einer mehr oder weniger detailliert vorgegebenen Anleitung durch die Schülerinnen und Schüler (Streller et al., 2019). Diese „Kochbuchexperimente“ oder „rezeptartige Experimentieranleitungen“, bei denen den Lernenden eine Handlungsanweisung zur Durchführung oder Auswertung eines Experiments gegeben wird (Höttecke & Rieß, 2015), die sie möglichst exakt umsetzen sollen,

dienen in der Regel dem Erreichen eines vorgegebenen Ergebnisses (Lunetta, 1998; Wirth et al., 2008). Je nach angestrebter Zielsetzung, lässt sich dieser Ansatz aber durchaus didaktisch begründen (Streller et al., 2019). Nach Höttecke und Rieß implizieren solche vorstrukturierten Anleitungen nämlich,

- dass Effekte zweifelsfrei in Erscheinung treten ohne sich zu überlagern,
- dass Effekte zeitökonomisch und zuverlässig hergestellt, beobachtet und vermessen werden können,
- dass Messdaten vorgegebenen Auswertungsroutinen entsprechen und
- dass Fragen nach der Stabilisierung von Messapparaturen gar nicht erst entstehen. (Höttecke & Rieß, 2015, S. 130–131)

Die Verwendung von stark vorstrukturierten Experimentieranleitungen gibt im Rahmen experimentellen Unterrichts demnach eine gewisse Planungssicherheit. Dient das Schülerexperiment der Vermittlung von Fachwissen oder dem Erlernen laborpraktischer Arbeitsweisen (z. B. Pipettieren oder die Bedienung eines Bunsenbrenners), so mag die Reduzierung der Aufgabenschwierigkeit durch die Vorgabe der Schritte und die Verringerung der Versuchsmaterialien sinnvoll sein (Schwichow et al., 2015). Solche eng strukturierten Experimente ähneln kaum tatsächlichen naturwissenschaftlichen Untersuchungen, sondern eher einem Bestätigungsexperiment (Capps, Crawford & Constas, 2012). Häufig wird kritisiert, dass die Verwendung stark vorstrukturierter Anleitungen die Denkprozesse beim Experimentieren vernachlässigt (Lunetta, 1998; Prenzel & Parchmann, 2003) und eine einseitige Sicht auf das Experimentieren erzeugt (Abrahams & Millar, 2008). Darüber hinaus wird moniert, dass die Schülerinnen und Schüler beim rezeptartigen Experimentieren häufig nicht wissen, was Ziel und Zweck des Experiments ist (Hart, Mulhall, Berry Amanda, Loughran & Gunstone, 2000; Hodson, 1990; Hofstein & Lunetta, 2004), was negative Folgen auf die Wirksamkeit des Unterrichts haben kann (Hodson, 1990). Soll das Schülerexperiment dagegen eingesetzt werden, um den Schülerinnen und Schülern das Experiment als wissenschaftliche Erkenntnisgewinnungsmethode näherzubringen oder ein mehr oder weniger authentisches Bild von Wissenschaft zu erzeugen, so sollten offenere Varianten des Schülerexperiments herangezogen werden. Beim sogenannten offenen bzw. selbstgesteuerten Experimentieren werden den Schülerinnen und Schüler bestimmte Teilprozesse bzw. Teilaspekte des Experiments zur selbstständigen Bearbeitung überlassen (vgl. Abbildung 2-13). Solche Experimentierumgebungen haben das Ziel, den Schülerinnen und Schülern im Rahmen gewisser Einschränkungen und Zielvorgaben (Reinhold, 1996) Raum für eigene Entscheidungen zu geben (Engeln, 2004). Das bedeutet, dass „die Rolle der Lehrkraft wechselt – von der Wissensvermittlung zur Unterstützung und Anleitung von eigenständigen Lernprozessen“ (Hof, 2011, S. 31). Da die Offenheit von Experimentierumgebungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein bedeutsames Kriterium für die Gestaltung von Experimentierprozessen darstellt, wird dieser Aspekt nochmals in Kapitel 2.3.3 aufgegriffen und dort vertiefter behandelt.

Grad	Fragestellung formulieren	Hypothesen generieren	Planung des Experiments	Durchführung des Experiments	Auswertung
0	Lehrer	Lehrer	Lehrer	Lehrer	Lehrer
1	Lehrer/Schüler Impulsgeber Lehrer	Lehrer/Schüler Impulsgeber Lehrer	Lehrer/Schüler Impulsgeber Lehrer	Lehrer/Schüler Impulsgeber Lehrer	Lehrer/Schüler Impulsgeber Lehrer
2	Lehrer/Schüler Impulsgeber Schüler	Lehrer/Schüler Impulsgeber Schüler	Lehrer/Schüler Impulsgeber Schüler	Lehrer/Schüler Impulsgeber Schüler	Lehrer/Schüler Impulsgeber Schüler
3	Schüler	Schüler	Schüler	Schüler	Schüler

Abbildung 2-13: Offenheit beim Experimentieren (Hof & Mayer, 2008, S. 74)

2.2.3 Empirische Befunde zum Experimentieren im Chemieunterricht

Im vorangegangenen Kapitel wurde beschrieben, welche vielfältigen Zielsetzungen und Funktionen mit dem Experimentieren im Chemieunterricht in Verbindung gebracht werden und welche grundsätzlichen Organisationsformen im Zusammenhang mit Experimentieren im Unterricht existieren. An dieser Stelle soll nun thematisiert werden, auf welche Art und Weise Experimente im Unterrichtsalltag tatsächlich eingesetzt werden, welche Wirkung die verschiedenen Einsatzformen bzw. konkret Schülerexperimente auf den Lernerfolg der Lernenden haben und welche Schwierigkeiten von Lernenden in Bezug auf Schülerexperimente beobachtbar sind.

2.2.3.1 Tatsächlicher Einsatz von Experimenten

Nachdem das Experiment im Unterricht zunächst vorrangig zur Bestätigung und Illustration von zuvor gelernten bzw. gelehrten Inhalten diente, wurde es ab es den 1960er Jahren auch vermehrt dazu genutzt, Lernende in Erkenntnisgewinnungs- und Problemlöseprozessen selbst aktiv werden zu lassen (Hofstein et al., 2013). Schon früh kam die Kritik auf, dass nur wenige Lehrkräfte in der Lage sind, Experimente effektiv einzusetzen, dass viele Experimente trivial seien und dass sich diese zu wenig an den Fähigkeiten und Interessen der Schülerinnen und Schüler orientierten (Hofstein & Lunetta, 1982). Der Experimenteinsatz im Chemieunterricht steht noch heute in der Kritik (Alexandra Schulz, 2011). Aktuelle Studien zeigen zwar, dass im naturwissenschaftlichen Unterricht in Deutschland grundsätzlich häufig Experimente eingeplant werden (Prenzel et al., 2008; Tesch, 2005) und viel Unterrichtszeit ins Experimentieren investiert wird (Börlin, 2012; Tesch & Duit, 2004). Dabei steht allerdings vermehrt die Vermittlung von Fachwissen

im Vordergrund, was sich in den beobachteten Handlungsmustern widerspiegelt (Stiller, 2015; Tesch, 2005). Am häufigsten werden Demonstrationsexperimente und instruktions-orientierte Schülerexperimente eingesetzt, seltener kommt es zu einer Demonstration durch Schülerinnen und Schüler (Börlin, 2012; Strübe, Tepner & Sumfleth, 2016; Tesch & Duit, 2004). Art und Dauer des Einsatzes sind dabei aber vom jeweiligen Themengebiet abhängig (Tesch & Duit, 2004). Werden Schülerexperimente eingeplant, so geschieht dies vergleichsweise selten in Form forschender Unterrichtsaktivitäten (Prenzel et al., 2008). Beispielsweise lässt sich in vergleichsweise wenigen Fällen ein eigenständiges Entwickeln von Experimenten durch die Lernenden feststellen (Reiss et al., 2016). Die Vorbereitung von Experimenten nimmt dementsprechend eine tendenziell untergeordnete Rolle ein und wird entweder vollständig vorgegeben oder im Unterrichtsgespräch gemeinsam entwickelt (Stiller, 2015; Tesch, 2005). Am häufigsten experimentieren Schülerinnen und Schüler demnach anhand bereitgestellter Experimentieranleitungen (Alexandra Schulz, 2011; Streller et al., 2019). Hauptaugenmerk liegt dabei bei der Durchführung der Experimente (hands-on Aktivitäten) und weniger auf ihrer Vorbereitung (minds-on); die anschließende Auswertung geschieht ebenfalls meist in Form eines durch die Lehrkraft angeleiteten Unterrichtsgesprächs (Stiller, 2015; Tesch, 2005). Eine Reflexion der Ergebnisse oder des Prozesses findet nur teilweise bzw. selten statt (Börlin, 2012). In Bezug auf mögliche Öffnungsgrade beim Durchlaufen von Experimentierprozessen lässt sich also festhalten, dass beim Einsatz von Schülerexperimenten vorrangig stark gelenkte Varianten verwendet werden, in denen wenige Entscheidungen von den Schülerinnen und Schüler selbst getroffen werden müssen (Ebene 1, 1 ½ und 2 in Abbildung 2-14). Der Erkenntnisgewinnungsprozess wird vergleichsweise selten explizit thematisiert (Stiller, 2015). Gleichzeitig werden in der Schule Schlussfolgerungen häufig auf der Grundlage weniger Daten und simpler Experimente gezogen (Höttecke & Rieß, 2015), was die Authentizität schulischer Experimente zusätzlich reduziert (Chinn & Malhotra, 2002).

2.2.3.2 Wirksamkeit von Schulexperimenten

Es gibt eine Vielzahl an Studien, welche sich der Wirksamkeit des Experimenteinsatzes im Unterricht widmen (Hofstein, Shore & Kipnis, 2004). Viele davon wurden bereits in den 1960er bis 1980er Jahren durchgeführt und fanden in verschiedenen Reviews zur Effektivität von „laboratory work“ Erwähnung (Hodson, 1990; Hofstein & Lunetta, 1982). Entsprechend der vielfältigen Zielsetzungen, werden dabei die Auswirkungen auf eine oder mehrere der folgenden Aspekte in den Blick genommen: die Entwicklung der Motivation, des Interesses oder der Einstellungen gegenüber naturwissenschaftlichem Unterricht (affektiv), das Erlenen und das Behalten themenbezogenen und konzeptionellen Fachwissens (kognitiv) sowie der Erwerb experimenteller Teilkompetenzen im Sinne wissenschaftsmethodischen Wissens und Könnens (kognitiv/metakognitiv/praktisch). Dabei zeigen Analysen, dass es sich beim chemischen Fachwissen und Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung tatsächlich um zwei empirisch voneinander trennbare

Kompetenzbereiche handelt (Klos, Henke, Kieren, Walpuski & Sumfleth, 2008). Zur Erhebung experimenteller Kompetenzen werden verschiedene Verfahren – wie schriftliche Tests, Fragebögen, computerbasierte Erhebungsmethoden oder die Videographie experimenteller Handlungen – verwendet (Rieß & Robin, 2012). Häufig orientieren sich die Testkonstruktionen und Modellierungen an den Phasen bzw. Teilprozessen experimenteller Untersuchungen (Gut-Glanzmann & Mayer, 2018).

Eine Reihe von Studien deuten an, dass der generelle Einsatz von Experimenten im Vergleich zu anderen Unterrichtsmethoden die Einstellungen und das Interesse in Bezug auf Naturwissenschaften begünstigen kann (Hofstein & Lunetta, 1982). Ähnliche Ergebnisse können zugunsten schülerzentrierter Experimentierformen im Vergleich zu Lehrerdemonstrationen verzeichnet werden (Hofstein & Lunetta, 1982; Weltner & Warnkross, 1969). Andererseits gibt es aber auch Studien, die keinen Einfluss oder sogar negative Auswirkungen des Experimenteinsatzes auf affektive Dispositionen beobachten konnten (White, 1996). Hofstein und Kempa (1985) weisen in diesem Zusammenhang beispielsweise darauf hin, dass sich nicht jede Form des Experimenteinsatzes gleichermaßen auf die Motivation der verschiedenen Schülerinnen und Schüler auswirkt. In diesem Sinne ist es stets Aufgabe der Lehrkraft die verwendeten Lehrmethoden auf die spezifische Lerngruppe anzupassen. Die Studie von Alexandra Schulz (2011) zeigt, dass eine Erhöhung experimentierspezifischer Qualitätsmerkmale zwar nicht automatisch zu einer Steigerung der Motivation oder des allgemeinen Interesses führt, wohl aber ein signifikant höheres situationales Interesse zur Folge haben kann. Fünfundachtzig Prozent der befragten Schülerinnen und Schüler stuften dabei die Durchführung eines Experiments als interessant bis sehr interessant ein (Walpuski & Schulz, 2011). Die Daten der PISA-Studie 2006 zeigen für die meisten teilnehmenden Länder, dass die Einstellungen der Schülerinnen und Schüler gegenüber den Naturwissenschaften mit dem Grad an Offenheit ansteigt (Jiang & McComas, 2015). Hinsichtlich offener Experimentieransätze lässt sich zudem feststellen, dass Varianten mit höherem Öffnungsgrad nicht zwangsweise zu einer höheren Motivation der Schülerinnen und Schüler führen (Stolz, 2018). Nur bei ausreichenden Kompetenzen und entsprechenden Rückmeldungen scheinen sich offenere Formen positiv auf die Motivation der Probanden auszuwirken (Horstendahl, Fischer & Rolf, 2000). Gestützt wird dieser Befund u. a. von der Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (1993). Diese geht davon aus, dass das Streben nach Kompetenz, Selbstbestimmung und sozialer Eingebundenheit angeborene Grundbedürfnisse sind, welche einen Einfluss auf die Motivation haben. Das Kompetenzerleben als Aspekt intrinsischer Motivation stellt darüber hinaus einen wichtigen Mediator für den Lernerfolg dar (Stolz, 2018).

Bezüglich des Zusammenhangs zwischen Experimenteinsatz und Lernerfolg gibt es indifferente Ergebnisse. Rumann (2005) stellte einen Vergleich zwischen experimenteller Kleingruppenarbeit und lehrerzentriertem Unterrichtsgespräch in der 7. Jahrgangsstufe des Gymnasiums im Fach Chemie an. Er konnte zeigen, dass vor allem leistungsschwächere und leistungsstärkere Schülerinnen und Schüler von kooperativen Schülerexperimenten im Fachwissenstest profitierten, während Lernende mit mittleren Leistungsausprägungen keinen signifikanten Unterschied zur Kontrollgruppe aufwiesen. Ba-

sierend auf dieser Arbeit entwickelte Walpuski (2006) die Lernumgebung weiter und untersuchte den Einfluss von Strukturierungshilfen sowie von Fehlerkorrektur durch Feedback auf die Entwicklung des Fachwissens. Die Ergebnisse zeigen, dass vor allem die Fehlerkorrektur durch die Lehrkraft (Rückfragemöglichkeit während experimenteller Phasen und Lehrervortrag im Anschluss an das Experiment) zu signifikanten Lernzuwächsen insbesondere bei leistungsstarken Schülerinnen und Schülern führt (Walpuski, 2006; Walpuski & Sumfleth, 2007). Wahser (2008) konnte darüber hinaus zeigen, dass durch Kombination von vorangehenden Strukturierungstrainings und anschließendem Lehrervortrag die Lernumgebung und der Einsatz von Strukturierungshilfen noch weiter optimiert werden können. Dies äußert sich in Form signifikant höherer Werte sowohl im Fachwissenstest als auch im Strukturierungstest sowie durch strukturierteres Vorgehen in den videographierten Kleingruppenarbeitsphasen (Wahser & Sumfleth, 2008). In der Studie von Hopf (2007) führten problemorientierte Schülerexperimente in Physik dagegen trotz positiver Bewertung der entwickelten Materialien zu keinen nachhaltigen Einflüssen auf den Lernerfolg und auf affektive Aspekte. Tesch (2005) konnte einen positiven Zusammenhang zwischen der Gesamtdauer von Experimentierprozessen und dem Leistungszuwachs der Schülerinnen und Schüler entdecken, welcher auf die Dauer der Vor- und Nachbereitungsphasen zurückgeht. Sie folgert daraus, dass das Durchführen von Experimenten alleine nicht ausreichend ist, sondern vor allem die Planung und Auswertung von Experimenten sowie die Einbettung in den Unterrichtsprozess bedeutsam sind. In der Vergleichsstudie von Hof (2011) wurden zum Thema Fotosynthese zwei unterschiedlich offene Varianten forschenden Lernens mit dem fragend-entwickelten Unterrichtsverfahren kontrastiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die beiden Varianten forschenden Lernens zu einem höheren Lernerfolg führen als das fragend-entwickelnde Vorgehen. Insbesondere die offenere Herangehensweise ist zur Förderung von wissenschaftsmethodischen Kompetenzen sowie von Fachwissen geeignet. Darüber hinaus zeigt sich, dass die angeleitete Experimentiergruppe am stärksten hinsichtlich des Fachwissenserwerbs profitiert, während die offene Variante am deutlichsten den Bereich der wissenschaftsmethodischen Kompetenzen fördert. Stolz (2018) konnte in ihrer Untersuchung im Fach Physik dagegen keinen signifikanten höheren Einfluss der stärker geöffneten Experimentiersituation im Vergleich zur weniger geöffneten Experimentiersituation auf den Fachwissenszuwachs der Schülerinnen und Schüler finden. In der stärker geöffneten Variante profitierten sowohl leistungsschwächere als auch leistungsstärkere Lernende, während in der angeleiteten Variante nur vorwiegend leistungsstärkere Schülerinnen und Schüler gefördert wurden. Die Metanalyse von Furtak, Seidel, Iverson und Briggs (2012) zeigt mit einer Effektstärke von 0.5, dass das Einbeziehen von Schülerinnen und Schülern in Erkenntnisgewinnungsprozesse generell einen positiven Effekt auf das Lernen hat. Darüber hinaus deuten die Ergebnisse an, dass durch die Lehrkraft unterstütztes Experimentieren im Vergleich zu traditionellen Unterrichtsstunden, aber auch im Vergleich zu unstrukturierten Varianten zu einem höheren Lerngewinn führt. In der Metaanalyse von Minner, Levy und Century (2010) zeigt die Mehrheit der untersuchten Studien eine positive Auswirkung gewisser Grade forschender Unterrichtsaktivitäten auf die Lern- und Behaltensleistung der Schülerinnen und Schüler. Dabei ergab sich kein signifikanter Einfluss des Ausmaßes

der Erkenntnisgewinnungsprozesse auf das konzeptionelle Lernen der Schülerinnen und Schüler. In einigen Fällen erwiesen sich jedoch die Aspekte aktives Denken und Ziehen von Schlussfolgerungen aus den Daten als statistisch signifikante Prädiktoren für den Wissenserwerb. Dies weist darauf hin, dass forschende Aktivitäten, in denen Schülerinnen und Schüler selbst aktiv nachdenken (also kognitiv aktiviert werden) und Schlussfolgerungen ziehen müssen, durchaus Lernpotential besitzen. Zu vergleichbaren Ergebnissen kommen auch Jiang und McComas (2015). Der Grad der Offenheit hat im analysierten PISA-Datensatz einen statistisch signifikanten Effekt sowohl auf die Ergebnisse im Fachwissenstest als auch auf die Einstellungen der Schülerinnen und Schüler gegenüber den Naturwissenschaften. Die höchsten Werte im Wissenstest konnten dabei bei Lernenden beobachtet werden, welche regelmäßig Experimente durchführen und Schlussfolgerungen aus den gewonnenen Daten ziehen. Sowohl offenere als auch weniger offene Formen weisen dagegen niedrigere Effekte auf die Ergebnisse im Wissenstest auf. Blanchard et al. (2010) stellten in ihrer Studie einen Vergleich zwischen einem geschlossenen Ansatz (traditional verification) und einem offeneren Ansatz (guided inquiry) in einer experimentellen Lernumgebung zum Thema Forensik an. Im verwendeten *guided inquiry*-Ansatz wurden den Schülerinnen und Schüler zwar die Fragestellungen und gewisse Hintergrundinformationen vorgegeben, Entscheidungen hinsichtlich des zeitlichen Ablaufs und der verwendeten Methoden sowie das Ziehen eigener Schlussfolgerungen wurden den Schülerinnen und Schülern jedoch selbst überlassen. Es zeigte sich, dass die Lernenden im offeneren Ansatz signifikant höhere Ergebnisse im Post- und Follow Up-Test erreichten als solche, die in der geschlossenen Umgebung lernten, vorausgesetzt die Lehrkraft hat die angedachten Forschungsmethoden auch entsprechend implementiert. Außerdem profitierten ältere Schülerinnen und Schüler (High-School) stärker vom guided inquiry-Ansatz als dies bei jüngeren (Middle-School) der Fall war. In einer Studie von Bunterm et al. (2014) wurden ebenfalls unterschiedlich offene Formen des Schülerexperiments (guided inquiry vs. structured inquiry) an drei thailändischen Schulen miteinander verglichen. Schülerinnen und Schüler der guided inquiry Gruppe schnitten sowohl im Fachwissenstest als auch im Prozesswissenstest besser ab als die structured inquiry Gruppe.

In einer Vielzahl von Studien wurde der Erwerb der Variablenkontrollstrategie oder deren Einfluss auf den Lernerfolg in realen oder virtuellen Experimentiersituationen untersucht. Künsting et al. (2008) erforschten beispielsweise den Einfluss der IVK-between-Strategie (siehe Kapitel 2.2.1) auf den Lernzuwachs von 436 Schülerinnen und Schülern aus den Klassen 8 bis 10 in einer virtuellen Experimentierumgebung im Fach Physik. In dieser Untersuchung stellte sich der Strategieeinsatz als wesentlicher Prädiktor für den Wissenszuwachs und die Leistungen im Wissensanwendungstest heraus. Diese Effekte zeigten sich auch unter Kontrolle der erhobenen Variablen Intelligenz, aktuelle Motivation und metakognitives Strategiewissen, wodurch der eigenständige Beitrag der Variablenkontrollstrategie nachgewiesen werden konnte. Überdies hatte der Strategieeinsatz in der Subgruppe mit wenig Vorwissen einen positiven signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse im Wissensanwendungstest, während die Subgruppe mit viel Vorwissen im deklarativ-konzeptuellen Wissenstest profitierte. Der Anteil an durchgeführten Experimenten, welche die IVK-between-Strategie berücksichtigten, war dabei in der Subgruppe

mit viel Vorwissen signifikant höher. Bei Ehmer (2008) führte die Vermittlung von Strategiewissen zu einem Zuwachs im methodisch-strategischen Wissenstest und den epistemologischen Kenntnissen. Die Ergebnisse zeigen ferner, dass ein Verständnis wichtiger Aspekte experimenteller Erkenntnisgewinnung am Ende der 6. Jahrgangsstufe kaum verbreitet war, diese aber im Rahmen einer kurzen Intervention gefördert werden konnten.

Dass die Vermittlung der Variablenkontrollstrategie bereits bei sieben- bis zehnjährigen Kindern zu einem signifikanten inhaltsspezifischen Wissenszuwachs führen kann, zeigt die Studie von Chen und Klahr (1999). Hieraus lässt sich folgern, dass bereits Grundschüler*innen in der Lage sind, die Experimentierstrategien auf andere Bereiche zu übertragen (Rieß & Robin, 2012). In diesem Zusammenhang konnten Schwichow et al. (2016) in ihrer Metanalyse keinen systematischen Einfluss des Alters der Probanden auf die Strategie-Vermittlung finden. Sie folgerten daraus, dass die Art und Weise der Vermittlung der Variablenkontrollstrategie zwar an das Alter der Lernenden angepasst werden sollte, diese jedoch prinzipiell für alle Altersklassen geeignet ist. Über alle 72 herangezogenen Interventionsstudien gerechnet, zeigte sich eine durchschnittliche Effektstärke von $g = .61$ hinsichtlich der Vermittlung der Variablenkontrollstrategie. Dabei weisen Vermittlungsstrategien, welche Demonstrationen verwenden oder kognitive Konflikte erzeugen, signifikant höhere Effektstärken auf als andere Varianten. Beispielsweise können sich die vielen Anforderungen, die bei einem Schülerexperiment an die Lernenden gestellt werden insbesondere in offenen Experimentiersituationen, bei der Vermittlung der VKS nachteilig auswirken (P. A. Kirschner, Sweller & Clark, 2006; Schwichow et al., 2016). Auch die Vermittlung von Kontrollstrategien in Form von direkter Instruktion stellte sich als gewinnbringend heraus (Klahr & Nigam, 2004; Scheuermann & Ropohl, 2017; Schwichow et al., 2016). Insgesamt zeigt sich also, dass der Einsatz experimenteller Strategien an Schülerinnen und Schüler unterschiedlicher Altersstufen instruktiv vermittelt werden kann. Die Anwendung solcher Strategien kann indes das Lernen in und mit Experimentierumgebungen optimieren. Die Notwendigkeit einer adäquaten Strategievermittlung wird insbesondere durch die vielfältigen Probleme deutlich, welche Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren nachweislich zeigen und welche im Folgenden kurz aufgezeigt werden sollen.

2.2.3.3 Probleme beim Experimentieren

Um eine möglichst lernwirksame Experimentierumgebung zum Zwecke experimenteller Erkenntnisgewinnung zu gestalten, gilt es u. a. mögliche Probleme zu erfassen, die im Rahmen von Schülerexperimenten vermehrt aufkommen. Wie beispielsweise die Studie von Kechel (2016) zeigt, können die Fehler, die von Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren auftreten, sehr individuell sein. Dennoch gibt es eine Reihe von Studien, welche das Ziel verfolgten, typische Fehler beim Experimentieren zu identifizieren. Die Schwierigkeiten gehen dabei über den fehlerhaften Umgang mit Gerätschaften hinaus und treten sowohl bei der Bearbeitung einzelner Phasen als auch im Zusammenhang mit dem Einsatz übergeordneter Strategien auf.

Bei der selbstständigen Identifikation und Formulierung von Fragestellungen und beim Bilden von Hypothesen wird von den Schülerinnen und Schülern verlangt, zielgerichtet vorzugehen und sich dabei auf theoretische Annahmen zu beziehen (Maiseyenka, 2014). Hypothesen basieren immer auf einer wissenschaftlichen Fragestellung und postulieren einen Wirkzusammenhang zwischen verschiedenen Variablen meist in Form von Wenn-Dann- oder Je-Desto-Aussagen (M. Wirtz & Schulz, 2012). Hypothesen berücksichtigen damit entweder theoretisches Wissen oder Beobachtungen und Schlussfolgerungen aus anderen Experimenten (Klahr & Dunbar, 1988). Eine mögliche Schwierigkeit liegt darin begründet, dass sich mangelndes Vorwissen negativ auf die Bildung von Hypothesen auswirken kann (Hammann, 2004). De Jong und van Joolingen (1998) fassen aus verschiedenen Studien folgende, weitere Defizite zusammen. Ein mögliches Problem ist, dass die untersuchten Proband*innen teilweise gar nicht wissen wie Hypothesen aufgebaut sind. Des Weiteren führt eine gewisse Angst vor Ablehnung („fear of rejection“) dazu, dass keine Hypothesen aufgestellt werden, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit falsifiziert werden müssten. Zudem lässt sich des Öfteren ein unbegründetes Festhalten an Hypothesen beobachten, das auf den Mangel an alternativen Hypothesen zurückgeht. Hammann, Phan, Ehmer und Bayrhuber (2006) führen überdies aus, dass häufig nur solche Hypothesen aufgestellt werden, welche persönlich als plausibel und erwartungskonform betrachtet werden. Baur (2018) stellte in seiner Untersuchung fest, dass Schülerinnen und Schüler ihre Hypothese während des Experimentierprozesses mehrfach veränderten, ohne diese validiert zu haben. Teilweise sehen die Lernenden das Ziel von Experimenten nicht in der Untersuchung von kausalen Beziehungen, sondern im Erzeugen von bestimmten Effekten (Baur, 2018; Hammann et al., 2006). Diese Vorgehensweise wird auch als Ingenieurmodus bezeichnet (de Jong & van Joolingen, 1998; Marschner, 2011; Siler & Klahr, 2012). Neben den bereits genannten Defiziten zeigt sich zusätzlich, dass Schülerinnen und Schüler teilweise sogar vollständig auf das Aufstellen von Hypothesen verzichten (Baur, 2018).

Eine der Hauptaufgaben bei der Planung und Durchführung von Experimenten sind neben der Auswahl passender Gerätschaften und Materialien und ihrem funktionsfähigen Aufbau die Identifikation von Variablen und das Beachten der Variablenkontrollstrategie (Maiseyenka, 2014; Andreas Schulz et al., 2012). In diesem Zusammenhang zeigt sich, dass die Schülerinnen und Schüler zwar teilweise implizit über die notwendigen Experimentierstrategien verfügen (Bullock, 1993; Chen & Klahr, 1999), diese aber im Sinne eines Produktionsdefizits in der Situation nicht abrufen können (Emden & Koenen, 2016; Marschner, Thillmann, Wirth & Leutner, 2012; Rieß & Robin, 2012; Thillmann, 2008). Als Folge arbeiten Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren häufig eher zufallsgeleitet und sehr unsystematisch, indem sie konfundierte Experimente planen und durchführen (Baur, 2018; de Jong & van Joolingen, 1998; Gößling, 2010; Hammann, 2004; Hammann et al., 2006; Siegler & Liebert, 1975; Siler & Klahr, 2012). Hier kommt es beispielsweise zur Verwechslung der Kontroll- und der Testvariablen (Hammann et al., 2006) oder die Schülerinnen und Schüler mischen bestimmte Substanzen sinnlos zusammen (Wahser & Sumfleth, 2008). In der Studie von Walpuski (2006) war ein Großteil der beobachteten Experimente zur Überprüfung der Idee bzw. Hypothese

ungeeignet oder wurde falsch durchgeführt (Walpuski & Schulz, 2011). Die unsystematische Vorgehensweise und der fehlende Strategieeinsatz lässt sich dabei nicht nur bei jüngeren Schülerinnen und Schülern, sondern auch bei Lernenden der Sekundarstufe II (J. Arnold, Kremer & Mayer, 2014) und sogar bei Studierenden (Hilfert-Rüppell et al., 2009) beobachten. Schülerinnen und Schüler der Oberstufe sind zwar durchaus in der Lage, unabhängige Variablen zu manipulieren und abhängige Variablen zu erheben, achten dabei jedoch selten auf Störvariablen (J. Arnold, Kremer & Mayer, 2013). Unter anderem in dieser unsystematischen Anwendung von Strategien kann eine Begründung gesehen werden, warum vor allem in offenen Experimentierumgebungen die Lernwirksamkeit gelegentlich hinter den Erwartungen zurückbleibt (Gößling, 2010; Marschner, 2011).

In seiner qualitativen Studie untersuchte Kechel (2016) die Schwierigkeiten Schülerinnen und Schülern beim eigenständigen Experimentieren zum Hooke‘schen Gesetz. Die häufigsten Fehler zeigten die Proband*innen in diesem Fall bei der Aufnahme und Aufbereitung der Messdaten (z. B ungenaues Ablesen oder Außerachtlassen bestimmter Messdaten). Vor allem bei ungeübten Schülerinnen und Schüler sind solche Schwierigkeiten, die nicht zuletzt aus dem fehlerhaften Umgang mit den Materialien resultieren, zu erwarten. Von diesen praktischen Defiziten abgesehen konnte darüber hinaus bereits mehrfach gezeigt werden, dass Kinder und Jugendliche bei der Analyse der Mess- oder Beobachtungsdaten unlogisch vorgehen oder keine Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen ziehen (Baur, 2018; Dunbar & Klahr, 1989; Hammann, 2004; Hammann et al., 2006; Rumann, 2005). Einerseits können gar keine eindeutigen Schlussfolgerungen aus konfundierten Experimenten gezogen werden (Glaser, Schauble, Raghavan & Zeitz, 1992). Andererseits tritt in diesem Zusammenhang u. a. ein Phänomen auf, das confirmation bias genannt wird. Die Schülerinnen und Schüler deuten ihre experimentellen Befunde um, wenn sich diese als nicht erwartungskonform herausstellen (Hammann et al., 2006). Die erhobenen Daten werden dann zur Bestätigung der ursprünglich aufgestellten Hypothese uminterpretiert (Rieß & Robin, 2012). Bei Wahser und Sumfleth (2008) zeigte die Analyse der videographierten Kleingruppenarbeiten, dass die Schülerinnen und Schüler ihre Ergebnisse deshalb uminterpretierten, weil sie ihrem Experiment und den getätigten Beobachtungen nicht ausreichend vertrauten. Darüber hinaus stammen aufgestellte Hypothesen häufig aus bewährten Alltagskonzepten, an welche Schülerinnen und Schüler trotz widersprechender Ergebnisse zunächst festhalten (Hammann et al., 2006).

Einige dieser Defizite kommen durch Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler über Experimentierprozesse zustande (Hammann, 2004). Durch einen adäquaten Umgang mit solchen Vorstellungen kann die Lernwirksamkeit von Schülerexperimenten im Unterricht noch weiter optimiert werden. Insgesamt zeigt sich, dass Lernende bereits ab der Primarstufe grundsätzlich in der Lage sind, wissenschaftlich zu denken und zu handeln. Dazu „bedarf [es] aber einer zielgerichteten Hinführung zum Experimentieren und der damit verbundenen Vermittlung von notwendigem inhaltlichem [sic] und methodischem [sic] Wissen“ (Rieß & Robin, 2012, S. 150).

2.3 Kriterien zur Planung von Experimentierprozessen

Wie im vorangegangenen Kapitel dargelegt, gibt es nicht „das“ Schulexperiment. Vielmehr gibt es eine Vielzahl an Zielen und Funktionen sowie an verschiedenen Einsatzmöglichkeiten, die mit dem Experimentieren in der Schule einhergehen. Analysen des naturwissenschaftlichen Unterrichts zeigen indessen, dass die Vielseitigkeit der Einsatzmöglichkeiten teilweise wenig genutzt wird und gerade Experimente mit Fokus auf Erkenntnisgewinnungsprozesse, in denen Schülerinnen und Schüler selbstständig eigene Untersuchungen planen oder auswerten, nach wie vor eine untergeordnete Rolle spielen (Walpuski & Hauck, 2017). Insbesondere die Forderung nach Kompetenzförderung im Bereich der Erkenntnisgewinnung, wie es beispielsweise in den Nationalen Bildungsstandards in Deutschland der Fall ist (vgl. Tabelle 2-3), macht deutlich, dass forschende Formen des Schulexperiments zur Vermittlung solcher wissenschaftsmethodischer Kompetenzen eingesetzt werden sollten. Bei der empirischen Überprüfung der Lernwirksamkeit zeigt sich, dass offene Schülerexperimente nicht zwangsweise zu mehr Lernerfolg oder Motivation bei den Schülerinnen und Schülern führen. Auf der anderen Seite konnten bereits mehrere Studien die Lernwirksamkeit (offener) experimenteller Lernumgebungen belegen, vor allem im Zusammenhang mit der Vermittlung wissenschaftsmethodischer Kompetenzen. Daraus folgt zunächst kein Anspruch auf einen exklusiven Einsatz solcher Varianten (Walpuski & Sumfleth, 2007). Vielmehr gilt es, Experimente im Unterricht entsprechend ihrer Lernpotentiale einzusetzen (Ferdinand, 2007). Da das Durchlaufen von Erkenntnisgewinnungsprozessen vor allem für Schülerinnen und Schüler keine triviale Aufgabe ist und nicht nebenbei gelernt wird, müssen solche Ansätze explizit unterrichtet werden (Sumfleth, 2016). Dabei ist es Aufgabe der Lehrkräfte, entsprechende Lerngelegenheiten zu schaffen, diese möglichst effektiv in den Unterricht einzubetten und für Lernende einsichtig zu machen (Tesch & Duit, 2004). Es herrscht weitgehend Einigkeit darüber, dass eine adäquate Vor- und Nachbereitung sowie die Berücksichtigung bestimmter Qualitätskriterien bei der Gestaltung von Experimentierprozessen wichtige Voraussetzungen sind, um dem zugeschriebenen Lernpotential tatsächlich gerecht zu werden (Frischknecht-Tobler & Labudde, 2019; Hofstein et al., 2004; Kechel, 2016; Prenzel & Parchmann, 2003; Schweingruber et al., 2006; Tesch, 2005; Walpuski & Hauck, 2017). Im folgenden Kapitel werden solche Kriterien herausgegriffen und näher beleuchtet, welche sich aus theoretisch-formativer Sicht und in empirischen Studien als relevante Qualitätskriterien herausstellen.

2.3.1 Lerngruppe

Wie in Kapitel 2.1.3 dargelegt, gibt es zahlreiche allgemein- und fachdidaktische Planungsmodelle sowie empirische Arbeiten, welche die Qualität von Unterrichtsplanungen im Allgemeinen oder bezogen auf naturwissenschaftliche Handlungsfelder dimensionieren und modellieren. Eine wesentliche Gemeinsamkeit stellt dabei der Bezug zur Lerngruppe bzw. die Orientierung der Planungen an den Voraussetzungen der Schülerinnen

und Schüler dar. So schreiben beispielsweise König et al. (2015, S. 379): „Das Bewusstsein der Lehrperson für die Lernenden und das Einbeziehen der Lernenden in den Planungsprozess stellt also ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal zwischen Experten und Novizen dar“. Insbesondere im Modell der Didaktischen Rekonstruktion (siehe Kapitel 2.1.3.3) werden die Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler hervorgehoben, mit den fachlichen Positionen gleichgestellt und mit der didaktischen Strukturierung der Lernumgebung wechselseitig verknüpft. Eine ebenso wichtige Stellung nehmen die Lernenden mit ihren Voraussetzungen im Angebots-Nutzungs-Modell (vgl. Abbildung 2-1) ein. Nach diesem bestimmt nicht nur die Qualität der Lernumgebung den Lernertrag. Vielmehr spielen die Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler und die bei ihnen ablaufenden kognitiven und motivational-affektiven Prozesse eine wesentliche Rolle für die Wirksamkeit von Unterrichtsprozessen. Diese Annahme gilt auch für den Einsatz von Schülerexperimenten im Chemieunterricht. Experimentelles Arbeiten ist eine komplexe Problemlösestrategie (Koenen, Emden & Sumfleth, 2017), die für die Schülerinnen und Schüler keineswegs trivial ist (Sumfleth, 2016). Die Vielzahl an beobachtbaren Schwierigkeiten beim Experimentieren, wie sie im vorangegangenen Kapitel beschrieben wurden, macht diese Komplexität deutlich. Der Verlauf und das Ergebnis von selbstgesteuerten Experimentierprozessen „werden sowohl von einem systematischen Einsatz kognitiver und metakognitiver Strategien als auch von kognitiven Grundfähigkeiten, vom Vorwissen und von motivationalen Variablen determiniert“ (Künsting, 2007, S. 27). Die Lernenden müssen insbesondere in offenen bzw. selbstgesteuerten Experimentierprozessen, in denen Schülerinnen und Schüler ihren Lernprozess je nach Grad der Strukturierung und Unterstützung mehr oder weniger stark selbst regulieren müssen, metakognitive Funktionen übernehmen, die sonst häufig von der Lehrkraft vorweggenommen werden (Wirth et al., 2008). Metakognition meint dabei, dass sich die Lernenden über das Wissen und die Denkstrategien, über die sie verfügen, bewusst werden und diese bewusst steuern können (Harms, 2007). An die Lernenden werden in solchen Lernumgebungen dementsprechend erhöhte strategische Anforderungen gestellt (Thillmann, 2008). Neben den strategischen und metakognitiven Aspekten setzt experimentelles Arbeiten auch immer konkretes Fachwissen voraus (Koenen et al., 2017). Beispielsweise benötigt man inhaltliches Wissen beim Aufstellen von Hypothesen (Klahr & Dunbar, 1988) oder um experimentelle Evidenzen erkennen zu können (Hart et al., 2000). Es ist demnach davon auszugehen, dass ein gewisses Maß an inhaltlichen Vorkenntnissen notwendig ist, um „hypothesengeleitete und strategische Experimente beim entdeckenden Lernen durchzuführen und so einen gewissen Lernerfolg zu erreichen“ (Künsting et al., 2008, S. 5). Da das Vorwissen auch aus kognitionspsychologischer Sicht einen prädiktiven Charakter hinsichtlich der ablaufenden Lernprozesse besitzt, stellt insbesondere die Aktivierung domänen- und themenspezifischen Vorwissens ein wichtiges Kriterium dar (Krause & Stark, 2006). Eine korrelative Studie von Künsting (2007) zeigt beispielsweise, dass das Vorwissen Auswirkungen auf den Einsatz von Experimentierstrategien hat (vgl. auch Künsting et al., 2008). Gleichfalls kann auch die aktuelle Motivation der Lernenden den Strategieeinsatz beim Experimentieren beeinflussen (Thillmann, 2008). Die Lernwirksamkeit des Strategieeinsatzes beim Experimentieren wurde dabei bereits mehrfach nachgewiesen

(siehe Kapitel 2.2.3.2), sodass der Einfluss des Vorwissens und der aktuellen Motivation auf den Lernerfolg zusätzlich über den sinnvollen Einsatz von Experimentierstrategien moderiert wird. Bevor Schülerinnen und Schüler in offenen Experimentierprozessen selbstständig arbeiten, sollten solche Strategien zuvor vermittelt worden sein (Priemer, 2011; Schwichow et al., 2016), da es sonst zu einer Überforderung der Lernenden kommen kann. Zu offene und wenig gelenkte Lernumgebungen können nicht zum erhofften Lernerfolg führen (Hodson, 1990; P. A. Kirschner et al., 2006). Aus diesem Grund wird beim forschenden Lernen der Überforderung der Lernenden häufig entgegengewirkt, indem entsprechende Strukturierungs- und Unterstützungsmaßnahmen einbezogen werden (J. Arnold, Kremer & Mayer, 2017; Hmelo-Silver, Duncan & Chinn, 2007). Um Unterstützungsmaßnahmen sinnvoll und gewinnbringend einzusetzen, sollten die experimentell-strategischen, methodischen und inhaltlichen Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler den Ausgangspunkt für die übrigen Planungsentscheidungen darstellen. Es lässt sich zusammenfassend feststellen, dass sich der Grad an Öffnung und Unterstützung an individuellen sowie lerngruppenübergreifenden Kompetenzen und Dispositionen orientieren sollte (Koenen, 2016).

2.3.2 Zielorientierung und Zielklarheit

Eine weitere grundlegende Planungsentscheidung betrifft die Ziele, die mit dem Einsatz von Experimenten erreicht werden sollen bzw. die damit zu fördernden Kompetenzen. Bezogen auf die fokussierten Ziele im Experimentalunterricht lässt sich die Kritik äußern, dass häufig zu viele Ziele gleichzeitig angestrebt werden oder Experimente unüberlegt eingesetzt werden (Hodson, 1993, 1996). Die Anforderungen die an die Schülerinnen und Schüler bei zu vielen parallelen Zielsetzungen gestellt werden, können dabei zu einer Überforderung der Lernenden führen (Rincke, 2016). Aus diesem Grund müssen Lehrkräfte einerseits die verschiedenen Ziele und Funktionen vom Experimentieren im Unterricht kennen (Hodson, 1996) und andererseits ihre Planungsentscheidungen ausgehend von konkreten Zielsetzungen treffen. Dabei ist Experimentieren immer eng mit den jeweiligen Fachinhalten verknüpft (Börlin, 2012; Wellnitz et al., 2017). Dennoch muss zunächst grundsätzlich geklärt werden, welche Ebene mit Hilfe des Experiments primär fokussiert werden soll: eine Prozessebene, welche das Experiment als Erkenntnisgewinnungsprozess versteht, eine fachinhaltliche Ebene, welche die Vermittlung fachlich-theoretischer Inhalte zum Ziel hat, oder eine Mischung aus beiden Ebenen (Koenen, 2016). Ein Vorschlag wie eine solche Zielgebundenheit und Kompetenzorientierung bei der Planung und Gestaltung von Unterricht berücksichtig werden kann, ist beispielsweise bei Nawrath, Maiseyenka und Schecker (2011) zu finden. Um die Fokussierung auf einzelne Teilkompetenzen in Experimentieraufgaben oder -stunden vorzunehmen oder im Nachhinein diagnostizieren zu können, stellen die Autor*innen ihr „Spinnennetz-Modell“ vor. Mit diesem sollen die einzelnen Teilprozesse hinsichtlich ihrer Bedeutung für die jeweilige Lernaufgabe in drei möglichen Abstufungen eingeschätzt werden und so eine Akzentuierung des Experimentierprozesses ermöglichen. Die zu fördernden Kompetenzen

im naturwissenschaftlichen Unterricht werden dabei nach den nationalen Bildungsstandards domänenspezifisch konkretisiert (Kauertz, Fischer, Mayer, Sumfleth & Walpuski, 2010; Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005a, 2005b, 2005c). Im Rahmen der empirischen Überprüfung der Bildungsstandards im Projekt „Evaluation der Standards in den naturwissenschaftlichen Fächern der Sekundarstufe I“ (ESNaS) wurden die Bildungsstandards weiter operationalisiert und in die drei Dimensionen Kompetenzbereiche, Kognitive Prozesse und Komplexität untergliedert (Kauertz et al., 2010; Wellnitz et al., 2012). Kompetenzen in Bezug auf naturwissenschaftliche Untersuchungen lassen sich dann hinsichtlich ihrer kognitiven Prozesse (reproduzieren, selegieren, organisieren, integrieren) und ihrer Komplexität (1 Fakt, 2 Fakten, 1 Zusammenhang, 2 Zusammenhänge, übergeordnetes Konzept) weiter ausdifferenzieren. Diese Modellierung wurde einerseits zur Testkonstruktion im Rahmen des IQB-Ländervergleichs entwickelt, andererseits ermöglicht diese aber auch die Entwicklung von Lernaufgaben. Für die Teilprozesse Fragestellung, Hypothese, Untersuchungsdesign und Datenauswertung ergeben sich durch die Dimension kognitive Prozesse die in Tabelle 2-6 dargestellte Einteilungsmöglichkeit.

Tabelle 2-6: Kognitive Prozesse im Bereich Naturwissenschaftliche Untersuchungen (Wellnitz et al., 2012, S. 272–274)

Teilprozess	**reproduzieren**	**selegieren**	**organisieren**	**integrieren**
Fragestellung	erkennen oder wiedergeben	auswählen	ableiten	eigenständig formulieren
Hypothese	erkennen	erkennen	ableiten	eigenständig formulieren ggf. beurteilen
Untersuchungsdesign	wiedergeben von Variablen	auswählen von Variablen	ableiten eines passenden Untersuchungsdesigns	selbstständige Beschreibung eines Untersuchungsdesigns
Datenauswertung	Ergebnisse wiedergeben	Ergebnisse auswählen	eigene Schlussfolgerungen ableiten	Ergebnisse auf andere Situationen übertragen

Im Rahmen der Entwicklung eines Kompetenztests im Bereich Erkenntnisgewinnung für Schülerinnen und Schüler der 5. Jahrgangsstufe (NAW-II) differenzierten Mannel, Walpuski und Sumfleth (2015) die Komplexitätsstufen auf Grundlage der „Anzahl der zur Lösung einer Aufgabe zu berücksichtigenden Variablen“ (Mannel et al., 2015, S. 103) aus:

Tabelle 2-7: Konkretisierung der Komplexitätsstufen (Mannel et al., 2015, S. 103)

Faktorstufe	**Anzahl und Art der Variablen**		
1 Fakt	1 AV*		
1 Zusammenhang	1 AV*	1 UV**	

2 Zusammenhänge	1 AV*	1 UV**	1 KV***
**AV* abhängige Variable, ***UV* unabhängige Variable, ***KV Kontrollvariable			

Darüber hinaus kann die hier nicht berücksichtigte fünfte und höchste Komplexitätsstufe *übergeordnetes Konzept* beispielsweise in Form einer Diskussion und Reflexion der Variablenkontrollstrategie geschehen (Kauertz et al., 2010).

Eine solche kategorienbasierte Planung ist in der Schulrealität aktuell wenig verbreitet, zumal Lernziele im Alltag meist nur implizit bedacht werden (vgl. Kapitel 2.1.4.1). Diese Modellierungen zeigen auf, dass auch im Zusammenhang mit experimentellen und anderen Untersuchungen eine Vielzahl an unterschiedlichen Kompetenzausprägungen existieren. Um dem erklärten Ziel einer naturwissenschaftlichen Grundbildung (Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005a) gerecht zu werden, müssen Lehrkräfte an spezifische Ziele orientierte Lerngelegenheiten schaffen.

Neben der Zielorientierung bei der Planung und Gestaltung von Experimentierprozessen, stellt auch die Klarheit der Ziele ein wesentliches Qualitätsmerkmal dar. Nicht nur der Lehrkraft, sondern auch den Schülerinnen und Schülern muss bewusst sein, aus welchem Grund und mit welchem Ziel in der jeweiligen Situation experimentiert wird (Börlin, 2012; Ferdinand, 2007; Harlen & Wake, 1999; Hofstein & Lunetta, 2004; Millar, 2009). Da Schülerinnen und Schüler häufig das Ziel beim Experimentieren nicht kennen oder missinterpretieren (Hofstein & Lunetta, 2004), liegt die Annahme nahe, dass falsche oder irreführende Zielangaben für die teilweise geringen Lernerfolge in (offenen) Experimentierumgebungen verantwortlich sind (vgl. Gößling, 2010). Empirische Untermauerung erhält dieses Postulat beispielsweise durch die Studien von Künsting (2007) und Alexandra Schulz (2011). Im ersten Beispiel konnte gezeigt werden, dass adäquate Lernzielvorgaben einen statistisch und praktisch bedeutsamen Effekt auf die Ergebnisse im Wissenstest haben (Künsting, 2007; Wirth et al., 2008). In der Untersuchung führten Lernziele, welche auf die Veränderungen innerhalb der Person abzielen (z. B. Herausfinden und Merken eines bestimmten Sachverhalts), unabhängig von ihrer Spezifität zu einem höheren Lernerfolg als Problemlöseziele, welche die Veränderung äußerer Umstände, wie dem Hervorrufen eines bestimmten Effekts, fokussieren (Wirth et al., 2008). Insbesondere in Lernumgebungen, welche selbstregulative Fähigkeiten verlangen, wie es in offenen Experimentierprozessen häufig der Fall ist, spielen die persönlichen Ziele der Schülerinnen und Schüler eine bedeutsame Rolle für den Lernprozess (Boekaerts, 1999; Künsting, 2007).

In der Studie von Alexandra Schulz (2011) konnte darüber hinaus ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Nachvollziehbarkeit des Experiments und den abhängigen Variablen Lernerfolg, Motivation und Interesse nachgewiesen werden. Experimente sind demnach u. a. dann lernwirksam, wenn es einen klaren und nachvollziehbaren Zusammenhang zwischen dem Thema und dem Experiment gibt (Walpuski & Hauck, 2017). Wie die Metanalysen von Hattie et al. (2014) zeigt, stellten das Setzen und Offenlegen

anspruchsvoller Ziele mit einer mittleren Effektstärke von $d = 0.56$ nicht nur in Experimentierumgebungen, sondern auch allgemein einen lernwirksamen Aspekt von Unterricht dar. Inhaltliche Klarheit kann hier dazu beitragen, dass das Arbeitsgedächtnis der Lernenden entlastet wird und diese so das Wesentliche leichter identifizieren und verarbeiten können (Lipowsky, 2015). In Experimentierprozessen können klare Zielsetzungen beispielsweise in Form konkreter naturwissenschaftlicher Frage- oder Problemstellungen, entsprechender Hinführungen oder durch entsprechende klare Aufgabenstellungen realisiert werden.

2.3.3 Offenheit

Wie in Kapitel 2.2.2 bereits erläutert wurde, ist das bloße Abarbeiten von Experimentieranleitungen zwar ein legitimer Ansatz für das Erreichen mancher Lernziele. Aufgrund der fehlenden kognitiven Aktivierung hinsichtlich der Aspekte forschenden Lernens ist diese Variante des Schülerexperiments jedoch wenig für die Förderung wissenschaftsmethodischer und experimentierspezifischer Kompetenzen geeignet (Kremer, Möller, Arnold & Mayer, 2019; Walpuski & Sumfleth, 2007). Aus diesem Grund werden zur Planung und Gestaltung von Experimentierprozessen Maßnahmen benötigt, die das Potential haben, Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren selbst kognitiv aktiv werden zu lassen. Die Offenheit von Experimenten bzw. die Selbststeuerung (auch Selbstregulation) beim Experimentieren stellt eine solche Maßnahme dar. Die in Kapitel 2.2.3.2 zitierten Studien zu offeneren Formen des Experimenteinsatzes zeigen, dass Experimente mit einem gewissen Grad an Offenheit entsprechendes Lernpotenzial besitzen. Insbesondere in Bezug auf wissenschaftsmethodische und prozessbezogene Kompetenzen sowie Einstellungen gegenüber den Naturwissenschaften ist teilweise mehr Lernerfolg zu erwarten als in weniger geöffneten Lernsettings (Blanchard et al., 2010; Hof, 2011; Jiang & McComas, 2015). Diese empirischen Befunde stützen die Forderung des Einsatzes offener bzw. selbstgesteuerter Schülerexperimente. Offenheit wird eher als ein Merkmal der Lernumgebung gesehen, während Selbststeuerung die Art und Weise thematisiert, wie Schülerinnen und Schüler in der Lernumgebung lernen und arbeiten. Das Wissen, hinsichtlich welcher Aspekte Offenheit erzeugt werden kann, ist eine notwendige Voraussetzung dafür, einen angemessenen und zielführenden Grad an Offenheit gestalten zu können. In den folgenden Ausführungen soll deshalb eine Übersicht gegeben werden, worum es sich beim Konstrukt der Offenheit bzw. Selbststeuerung beim Experimentieren handelt und wie dieses operationalisiert werden kann. Offenheit und Selbststeuerung werden in dieser Arbeit dabei weitgehend als Synonyme betrachtet.

Es gibt eine große Zahl an Definitionen zur Offenheit von Lernumgebungen im Allgemeinen und der Offenheit von Experimentierprozessen im Speziellen, deren grobe Gemeinsamkeit in der Mitbestimmung der Lernenden in ihrem eigenen Lernprozess besteht (Priemer, 2011). Seine Ursprünge hat dieses Konzept in einer konstruktivistischen Sicht auf das Lernen, in der davon ausgegangen wird, dass die Lernenden selbst die Verantwortung für die Steuerungs- und Kontrollprozesse beim Lernen übernehmen müssen (Reinmann & Mandl, 2006). Dementsprechend wird in diesem Zusammenhang auch auf

Begriffe wie selbstreguliertes oder selbstgesteuertes Lernen zurückgegriffen, welche in der Literatur wiederum häufig synonym verwendet werden (Landmann, Perels, Otte, Schnick-Vollmer & Schmitz, 2015). Azevedo (2005) fasst die wesentlichen Grundannahmen selbstregulierten Lernens wie folgt zusammen (vgl. auch Winters, Greene & Costich, 2008): In Modellen zum selbstgesteuerten Lernen wird davon ausgegangen, dass die Lernenden eigene Bedeutungen, Ziele und Strategien sowohl aus externen (Aufgaben, Lernumgebung, etc.) als auch aus internen Quellen (internes kognitives System) aktiv selbst entwickeln. Die Lernenden sind dabei in der Lage, ihre Kognitionen, ihre Motivation, ihr Verhalten und kontextuelle Aspekte zu überwachen, zu kontrollieren und zu regulieren. Die Fähigkeit zur Überwachung, Kontrolle und Regulation des Lernprozesses ist von biologischen, entwicklungsbezogenen, kontextuellen und individuellen Merkmalen abhängig. Die aufgestellten Ziele und Standards dienen als Ausgangspunkt für die Überwachung und Evaluation des Lernprozesses. Das bedeutet, dass der Lernfortschritt in Rückbezug auf die aufgestellten Ziele überprüft wird und die Kognition, die Motivation, das Verhalten sowie der Kontext gegebenenfalls so angepasst werden, damit die angestrebten Ziele erreicht werden können. Damit wird das selbstregulierte Lernen als Mediator zwischen individuellen und äußeren Einflüssen und den tatsächlich ablaufenden Lernprozessen gesehen. Das selbstregulierte Lernen umfasst damit die folgenden Komponenten bzw. Fähigkeiten:

a) setting specific proximal goals for oneself,
b) adopting powerful strategies for attaining the goals,
c) monitoring one's performance selectively for signs of progress,
d) restructuring one's physical and social context to make it compatible with one's goals,
e) managing one's time use efficiently,
f) self-evaluating one's methods,
g) attributing causation to results, and
h) adapting future methods. (Zimmerman, 2002, S. 66)

Beim selbstregulierten Lernen durch Experimentieren wird die Offenheit der Lernumgebung auf naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen übertragen (Priemer, 2011). Der Lernprozess ist dann insofern selbstgesteuert, als dass die Lernenden selbstständig neue Informationen erzeugen und diese im weiteren Verlauf des Experimentierprozesses berücksichtigen, beispielsweise indem Schlussfolgerungen aus den Informationen gezogen oder Hypothesen überprüft werden (Künsting, 2007). Die Schülerinnen und Schüler sollen gleichzeitig ihren eigenen Experimentierprozess oder Aspekte davon überwachen, regulieren und kontrollieren sowie den Einsatz von übergeordneten oder experimentierspezifischen Strategien steuern und an die gegebene Situation anpassen. Aus diesem Grund spielen metakognitives Wissen und metakognitive Prozesse beim selbstgesteuerten Experimentieren eine wichtige Rolle (Gößling, 2010). Durch den Einsatz offener Lernumgebungen beim Experimentieren, in denen es Wahlmöglichkeiten für die Schülerinnen und Schüler gibt, wird das subjektive Autonomieempfinden berücksichtigt

(Landmann et al., 2015), was die Lernmotivation positiv begünstigen kann (Deci & Ryan, 1993).

Um die Wirksamkeit von verschiedenen Experimentierumgebungen evaluieren und mit anderen Lehrmethoden vergleichen zu können (Blanchard et al., 2010; Bunterm et al., 2014; Jiang & McComas, 2015; Sadeh & Zion, 2009, 2012), gibt es in der fachdidaktischen Forschung verschiedene Ansätze, Offenheit beim Experimentieren zu definieren und zu operationalisieren. Eine Kategorisierungsmöglichkeit besteht darin, die relevanten experimentellen Teilprozesse (Phasen) dahingehend einzuordnen, inwieweit diese von den Schülerinnen und Schüler selbstständig übernommen oder von der Lehrkraft angeleitet bzw. vorgegebenen werden (vgl. Abbildung 2-14). Daraus leiten die Autor*innen dann bestimmte Ebenen, Level oder Grade der Offenheit ab, welche sich hinsichtlich des Anteils der selbstständigen Aktivitäten der Schülerinnen und Schüler unterscheiden. Teilweise werden diese Grade auch mit bestimmten Begriffen versehen. Hier haben sich die Begriffe Confirmation inquiry (Untersuchung zur Bestätigung / Bestätigungsexperiment), Structured Inquiry (strukturierte Untersuchung / vorstrukturiertes Experiment), Guided Inquiry (gelenkte Untersuchung / geführtes Experiment), Open Inquiry (offene Untersuchung / offenes Experiment) und teilweise auch Authentic Inquiry (authentische Untersuchung) weitgehend durchgesetzt (Bell, Smetana & Binns, 2005; Buck, Bretz & Towns, 2008; Emden et al., 2016; Fitzgerald, Danaia & McKinnon, 2019; Stiller, 2015). Authentische Untersuchungen zeichnen sich durch ihre hohe Komplexität sowie durch hochspezialisierte und teure Instrumente aus, so dass sich diese in der Schule kaum umsetzen lassen (Chinn & Malhotra, 2002).

Grad / Phasen	Ebene 1 Untersuchung zur Bestätigung	Ebene 1 ½ strukturierte Untersuchung	Ebene 2 gelenkte Untersuchung	Ebene 3 offene Untersuchung	Ebene 4 authentische Untersuchung
Fragestellung	Lehrer	Lehrer	Lehrer	Lehrer	Schüler
Hypothese	Lehrer	Lehrer	Lehrer	Lehrer	Schüler
Planung	Lehrer	Lehrer	Lehrer	Schüler	Schüler
Durchführung	Lehrer	Lehrer	Lehrer	Schüler	Schüler
Auswertung	Lehrer	Lehrer	Schüler	Schüler	Schüler
Schlussfolgerung	Lehrer	Schüler	Schüler	Schüler	Schüler
Reflexion	Lehrer	Schüler	Schüler	Schüler	Schüler
	mehr strukturiert				weniger strukturiert
	lehrerzentriert				schülerzentriert

Abbildung 2-14: Öffnungsgrade beim Experimentieren (Stiller, 2015, S. 55)

Wie Abbildung 2-14 zeigt, werden auch bei sogenannten offenen Untersuchungen teilweise die Fragestellung oder die Hypothesen vorgegeben, sodass hier in aller Regel nur von einer eingeschränkten Offenheit die Rede sein kann (Priemer, 2011; Reinhold, 1996).

Einen Überblick über verschiedene Kategorisierungsversuche zur Offenheit von Experimentierprozessen liefert Priemer (2011). Ausgehend von der Kritik, dass es an einer einheitlichen und ausreichend differenzierten Operationalisierung fehle, präzisiert er den Offenheitsbegriff anhand der sechs Dimensionen Fachinhalt, Strategie, Methode, Anzahl der möglichen Lösungen, Anzahl der möglichen Lösungswege und Phasen des Experimentierens. Er geht damit über die bloße Differenzierung anhand der experimentellen Teilprozesse hinaus. Zusätzlich zu dieser Kategorisierung kann für jede dieser Dimensionen einzeln eine Graduierung entsprechend ihrer Offenheit vorgenommen werden (vgl. Abbildung 2-15). Obwohl die einzelnen Dimensionen teilweise nicht unabhängig voneinander sind, schafft er damit einen Rahmen, um die Offenheit einer Experimentierumgebung differenziert und kategoriengeleitet einschätzen zu können.

Bei themenübergreifenden Frage- bzw. Problemstellungen können unterschiedliche Inhalte zur Bearbeitung der Experimentieraufgabe herangezogen werden. Offenheit hinsichtlich des Fachinhalts betrifft die Frage, inwieweit dieser inhaltliche Kontext einer Frage- bzw. Problemstellung vorgegeben ist. Beispielsweise kann das Material einer Münze über den statischen Auftrieb oder über den elektrischen Widerstand bestimmt werden. Fachinhaltliche Offenheit bedeutet, dass die Lehrkraft keine Vorgaben hinsichtlich der zur Bearbeitung der Experimentieraufgabe heranzuziehenden Inhalte macht. Der geringste Grad an Offenheit liegt in diesem Sinne vor, wenn die Lehrkraft die Inhalte vorgibt und damit keinerlei Wahlfreiheiten für die Schülerinnen und Schüler existieren. Eine mittlere Ausprägung der Offenheit (vorskizziert) kann realisiert werden, indem mehrere mögliche Inhaltsbereiche expliziert werden, die konkrete Auswahl aber durch die Lernenden selbst erfolgt.

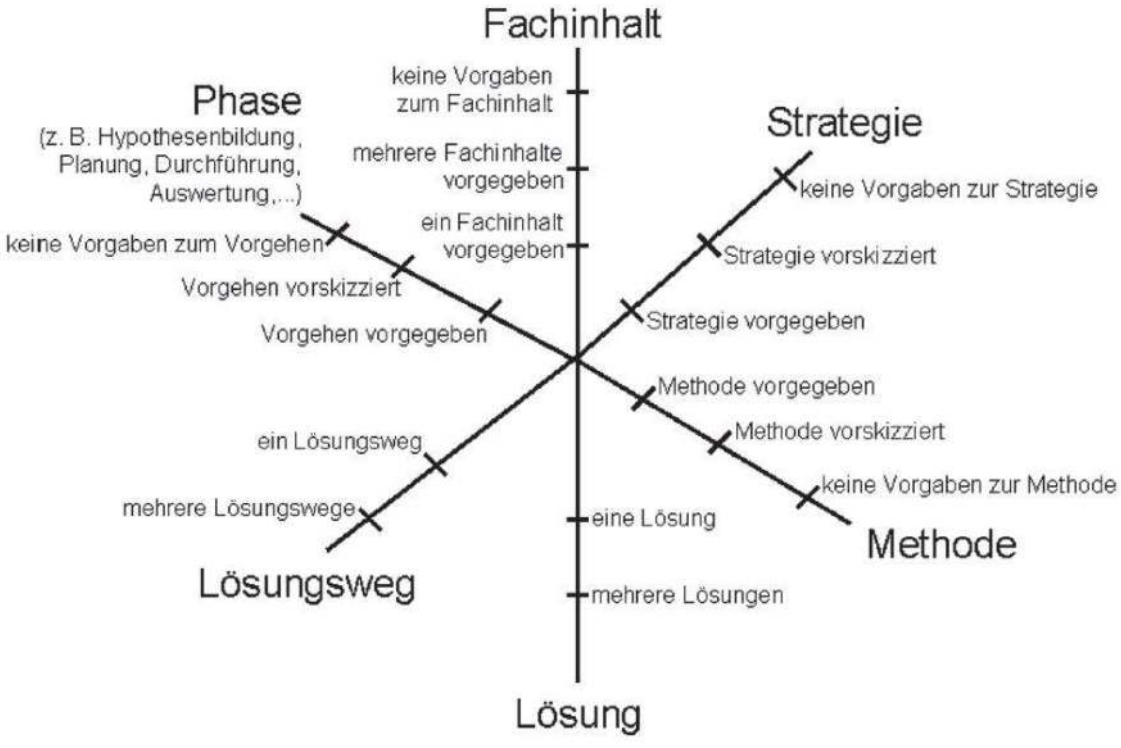


Abbildung 2-15: Dimensionierung und Graduierung der Offenheit (Priemer, 2011, S. 325)

Die Offenheit hinsichtlich der Strategie berücksichtigt die naturwissenschaftlichen Denkweisen, die einer Untersuchung zugrunde liegen. Konkret betrifft dies die Wahl einer qualitativen oder quantitativen Vorgehensweise beim Experimentieren und Entscheidungen hinsichtlich des Untersuchungsdesigns. Letzteres umfasst wiederum den Einsatz der Variablenkontrollstrategie bei der Planung, Durchführung und Auswertung des Experiments, die notwendigen Experimentierschritte, die Aufnahme von und der Umgang mit den Daten (Verfahren der Datenaufnahme, Anzahl der zu erfassenden Messwerte etc.) sowie Vorgehensweisen und Prinzipien bei der Auswertung der Daten. Ein Experiment ist offen hinsichtlich dieser Aspekte, wenn es keine Vorgaben seitens der Lehrkraft, also eine maximale Entscheidungsfreiheit für die Schülerinnen und Schüler gibt. Die Offenheit ist am geringsten ausgeprägt, wenn es beispielsweise eine Anleitung gibt, welche die strategischen Entscheidungen vorwegnimmt. Vorskizzieren lassen sich diese Aspekte, indem den Lernenden beispielsweise Hinweise gegeben werden, welche zur Einhaltung bestimmter Strategien oder zur Aufnahme ausreichend vieler Messwerte auffordern. Priemer (2011) merkt dabei an, dass die zu verwendenden Strategien vor dem offenen Einsatz bereits erlernt werden müssen. Generell gilt, dass Lernende zur erfolgreichen selbstregulierten Bewältigung von Lernprozessen effektive Strategien benötigen, egal ob diese selbstständig erarbeitet oder instruktiv vermittelt wurden (Wirth & Leutner, 2006).

Methodische Offenheit thematisiert die naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen, also die konkreten Methoden, die zur Verwirklichung der Strategie herangezogen werden. Dies betrifft u. a. Entscheidungen hinsichtlich der Wahl bestimmter Geräte, Materialien, Chemikalien oder Versuchsaufbauten, die für die Durchführung der Untersuchung eingesetzt werden sollen. Die Offenheit hinsichtlich der Methode lässt sich durch entsprechende Vorgaben graduieren. Gibt es eine feste Vorgabe, welche Geräte und Materialien für ein bestimmtes Experiment verwendet werden müssen, so ist die Offenheit minimal ausgeprägt. Eine maximale Entscheidungsfreiheit lässt sich realisieren, in dem die Schülerinnen und Schüler Zugriff auf eine von der zugrundliegenden Aufgabenstellung unabhängigen Materialsammlung erhalten. Methodische Entscheidungen lassen sich zudem vorskizzieren, indem die Lehrkraft die Geräte, Materialien oder Instrumente vorselektiert. Die Schülerinnen und Schüler können dann eigene Entscheidungen im Rahmen der getroffenen Vorauswahl treffen.

Bei der Dimension Anzahl der Lösungen wird die Frage bedacht, ob ein prinzipiell vorbestimmtes Ergebnis existiert, das die Schülerinnen und Schüler in der Experimentieraufgabe erreichen sollen. Hier kann es entweder exakt eine Lösung oder mehrere verschiedene erreichbare Lösungen geben. Die Anzahl der Lösungswege thematisiert die Wege, wie die Schülerinnen und Schüler zur Lösung kommen. Bei rezeptartigen Experimentieranleitungen ist dieser beispielsweise vorgegeben und es werden keine anderen Herangehensweisen zugelassen. Beide Dimensionen können als Prüfkriterien verstanden werden, welche eine rückwirkende Einschätzung der tatsächlichen Offenheit ermöglichen. Sollen die Lernenden in einer vermeintlich offenen Experimentierumgebung einen festgelegten Lösungsweg finden, so muss eher von einer „Scheinoffenheit“ gesprochen werden.

Als letzte Dimension führt Priemer (2011) die Phasen des Experimentierens auf. Wie bereits in Kapitel 2.2.1 beschrieben, kann ein Experimentierprozess die Teilprozesse Formulierung von Fragestellungen, Bilden von Vermutung und Hypothesen, Planung, Durchführung, Aufbereitung der Daten und deren Auswertung, Schlussfolgerung und Interpretation sowie Reflexion des Prozesses enthalten. Diese Dimension entspricht der weiter oben beschriebenen Variante (vgl. Abbildung 2-14). Zur Öffnung der Experimentierphasen können dabei die Dimensionen Fachinhalt, Strategie, Methode sowie Lösungen und Lösungswege herangezogen werden. Die Offenheit der Phasen kann durch genaue Vorgaben, die Vorskizzierung des Vorgehens oder den vollständigen Verzicht auf Vorgaben graduiert werden.

Obwohl die Offenheit ein bedeutsames Kriterium für die Planung und Gestaltung von Experimentierprozessen darstellt, gibt es durchaus berechtigte Kritik an vollständig offenen Varianten, welche keine Unterstützung der Schülerinnen und Schüler beinhalten (Hodson, 1990; P. A. Kirschner et al., 2006). In vielen forschenden oder problemlösenden Ansätzen wird daher auf eine angemessene Unterstützung der Schülerinnen und Schüler beim selbstständigen Experimentieren geachtet (de Jong & van Joolingen, 1998; Hmelo-Silver et al., 2007). Obwohl es empirische Arbeiten gibt, welche den notwendigen Grad an Offenheit identifizieren wollen (z. B. Jiang & McComas, 2015), ist dieser nach wie vor weitgehend ungeklärt. Es deutet sich jedoch an, dass sowohl zu starke Strukturierung als auch zu wenig Strukturierung beim Experimentieren die Lernwirksamkeit einschränkt (Sumfleth, Rumann & Nicolai, 2004). Übertragen auf Qualitätsmerkmale von Unterricht entspricht dies der Balance zwischen kognitiver Aktivierung und inhaltlicher Strukturierung. Offenheit führt demnach nicht per se zu mehr Lernerfolg, es müssen zusätzlich passende Maßnahmen eingeplant werden, mit denen die Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren unterstützt werden können.

2.3.4 Unterstützung

Selbstgesteuertes Experimentieren stellt hohe kognitive, metakognitive sowie strategische Anforderungen an die Schülerinnen und Schüler (Emden & Koenen, 2016; Thillmann, 2008). Da Lernende, vor allem solche mit wenig Erfahrung im Experimentieren, schnell von dieser zusätzlichen regulatorischen Belastung überfordert sein können (J. Arnold et al., 2017), bedarf es in der Regel gewisser Unterstützungsmaßnahmen beim Experimentieren (Wirth & Leutner, 2006). Auch aus motivationalen Gesichtspunkten ist es sinnvoll, gewisse Maßnahmen zur Lernunterstützung der Schülerinnen und Schüler zu ergreifen. Nach der Selbstbestimmungstheorie ist neben dem Autonomieempfinden auch das Kompetenzerleben ein wichtiger Einflussfaktor auf die Lernmotivation der Schülerinnen und Schüler (Deci & Ryan, 1993, 2000). Die Lernenden sollten demnach in die Lage versetzt werden, die im Rahmen experimenteller Lernumgebungen gestellten Aufgaben erfolgreich bewältigen zu können (Landmann et al., 2015). Sind die Lernenden dazu nicht in der Lage, so kann dies negative Auswirkungen auf deren Motivation haben (Horstendahl et al., 2000; Stolz, 2018). Wie Marschner et al. (2012) zusammenfassen, lassen sich Probleme beim Einsatz von Experimentierstrategien (vgl. Kapitel 2.2.3.3) im

Wesentlichen auf drei Defizite zurückführen: dem Verfügbarkeitsdefizit, dem Produktionsdefizit und dem Nutzungsdefizit. Das Verfügbarkeitsdefizit erklärt die mangelnde Strategienutzung durch das Fehlen des notwendigen Wissens. Beim Produktions- und Nutzungsdefizit wird dagegen davon ausgegangen, dass das notwendige Wissen über die Strategien prinzipiell vorhanden ist. Dieses kann dann jedoch entweder nicht in der Situation abgerufen und eingesetzt werden (Produktionsdefizit) oder wird zwar angewendet, es ergibt sich daraus aber kein Nutzen für die Lernenden (Nutzungsdefizit). Im Wesentlichen dienen Unterstützungsmaßnahmen beim Experimentieren der Überwindung oder Vermeidung dieser Defizite. Die Schülerinnen und Schüler können durch entsprechende Lernhilfen bei identifizierten und antizipierten Schwierigkeiten und Hürden im Experimentierprozess angemessen unterstützt werden (Emden & Koenen, 2016). Art und Umfang der Hilfen hängen dabei einerseits von den angestrebten Zielen und andererseits von den Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler ab (Koenen & Kirstein, 2017).
Ein Begriff, der im Zusammenhang mit Lernunterstützung vor allem in der englischsprachigen Literatur häufig fällt, ist der des *scaffolding* (zu Deutsch: Gerüst). Darunter wird im eigentlichen Sinne ein Konzept verstanden, in dessen Verlauf die Maßnahmen zur Lernunterstützung mit der Zeit verringert werden bzw. nach und nach verschwinden (Gerüst abbauen), um so die Schülerinnen und Schüler schrittweise zur selbstständigen Bearbeitung von Aufgaben bzw. zur Bewältigung von Problemen zu befähigen (Hmelo-Silver, 2006; Puntambekar & Hubscher, 2005). Kernelemente sind dabei die Anpassung der Maßnahmen an die Schülerinnen und Schüler und die dafür nötige anhaltende Diagnose der Lernvoraussetzungen. Die dazu verwendeten Unterstützungsmaßnahmen können in *hard* und *soft scaffolds* unterschieden werden (J. Arnold et al., 2017; Saye & Brush, 2002). Hard scaffolds sind eher statische Unterstützungsmaßnahmen, die sich an typischen Schwierigkeiten der Lernenden orientieren, also nicht auf individuelle Bedürfnisse angepasst sind. Bei soft scaffolds handelt es sich dagegen um dynamische, situationsbezogene und an den Reaktionen und Antworten der Schülerinnen und Schüler orientierte Hilfestellungen seitens der Lehrkraft. Neben dieser Einteilungsmöglichkeit können Maßnahmen zur Lernunterstützung beim Experimentieren auch hinsichtlich ihrer Adaptivität (Grad der Anpassung an die spezifischen Probleme), des Zeitpunkts ihrer Nutzung (vor, während oder nach dem Experiment) und ihres Inhalts (kognitive oder metakognitive Strategien, unterstützte Teilprozesse) klassifiziert werden (vgl. Marschner, 2011). Einen Überblick über Unterstützungsmöglichkeiten im Rahmen computerbasierten Scientific Discovery Lernens schaffen beispielsweise de Jong und van Joolingen (1998). In solchen Überblicksartikeln wird deutlich, dass es vielfältige Möglichkeiten gibt, Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren in realen oder computerbasierten Settings zu unterstützen. Im Folgenden sollen kurz einige Beispiele beschrieben und anhand ausgewählter empirischer Ergebnisse eingeordnet werden.

2.3.4.1 Prompting

Eine Möglichkeit, um selbstgesteuertes Experimentieren zu unterstützen, ist der Einsatz sogenannter Prompts (Wirth, 2009). Diese Prompts, zu Deutsch Anregungen, bestehen in

der Regel aus Fragen oder Tipps (vgl. Abbildung 2-16), welche bestimmtes Vorwissen oder den Einsatz bestimmter Strategien aktivieren und so zur Überwindung eines Produktionsdefizits beitragen sollen (Bannert, 2009; Marschner et al., 2012).

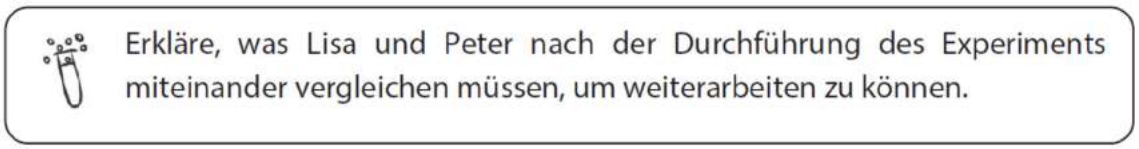


Abbildung 2-16: Exemplarischer metakognitiver Prompt (Emden & Koenen, 2016, S. 26)

Solche Anregungen können als nicht-direktive Form der Unterstützung verstanden werden. Das bedeutet, dass die Schülerinnen und Schüler selbst entscheiden, inwiefern sie die Anregungen nutzen und realisieren, wodurch der Lernprozess weitgehend selbstgesteuert bleibt (Wirth et al., 2008). Prompts können wiederum hinsichtlich inhaltlicher Aspekte (kognitiv oder metakognitiv), ihrer Adaptivität und des Zeitpunkts ihrer Darbietung unterschieden werden (Bannert, 2009; Marschner et al., 2012; Thillmann, 2008). Darüber hinaus können Prompts durch reale Personen oder im Rahmen computerbasierter Lernumgebungen dargeboten werden (Marschner, 2011). Diese Methode stellte sich bereits in vielen Studien als lernförderlich heraus, beispielsweise beim Erlenen von Argumentationsfähigkeiten (Schworm & Renkl, 2007), im Rahmen universitärer Veranstaltungen (Bannert, 2003) sowie beim selbstständigen Experimentieren durch Schülerinnen und Schüler (Marschner, 2011; Thillmann, 2008). Dabei deutet sich ein tendenzieller Vorteil adaptiver Formen in Kombination mit individuellen Rückmeldungen an (Marschner et al., 2012). Die Darbietung von Prompts während des Experimentierprozesses zeigt überdies einen positiven Effekt im Vergleich zur Darbietung vor dem Lernen. Dies war unabhängig davon, ob die Prompts optimal am Regulationsablauf angepasst waren (Thillmann, Künsting, Wirth & Leutner, 2009). Wirth et al. (2008) folgern aus diesen Ergebnissen, dass Lehrkräfte trotz praktischer Implementierungshürden versuchen sollten, Schülerinnen und Schüler während des Experimentierens durch metakognitive Prompts zu unterstützen.

2.3.4.2 Feedback

Eine weitere Unterstützungsmöglichkeit beim selbstgesteuerten Experimentieren stellt das Feedback durch die Lehrkraft dar. Die Bedingungen und Wirkungen von Feedback in Lehr-Lern-Prozessen sind schon lange Forschungsgegenstand mit teils inkonsistenten Ergebnissen (Narciss, 2014). Effektives Feedback muss nach Hattie und Timperley (2007) immer Rückmeldung über die Ziele, über den Lernfortschritt in Bezug auf diese Ziele und über dazugehörige Verbesserungsmöglichkeiten geben. Es hat damit den Zweck, die Diskrepanz zwischen dem aktuell bestehenden Wissen und dem erwünschten Lernziel zu verkleinern. Feedback lässt sich dabei hinsichtlich der Quelle (Lehrkräfte, Peers, Bücher, Betroffene selbst etc.), der Präsentation (Format: textlich, verbal, computergestützt; während oder nach der Aufgabe oder angepasst an das Vorwissen; bezogen

auf Gruppen oder Einzelpersonen), des Inhalts (positiv/negativ, bestätigend/nicht bestätigend; Bezugsnorm, Grad der Elaboration) und des Ziels (Informationen über die Aufgabe oder über Verbesserungsvorschläge etc.) charakterisieren (Hattie & Wollenschläger, 2014). Es gibt den Empfänger*innen Informationen über ihren Leistungsfortschritt oder zeigt an ob eine gegebene Antwort korrekt ist, bzw. was die richtige Antwort ist. Elaboriertere Formen geben Rückmeldung in Bezug auf die Aufgabenstellung, auf Bearbeitungsregeln, auf Konzepte oder Fachbegriffe oder auf Anzahl, Ort, Art oder Ursache von Fehlern (Narciss, 2006). Je nach Form des Feedbacks kann dieses eine kognitive, metakognitive oder motivationale Funktion einnehmen (Narciss, 2006). Beim mündlichen Feedback durch die Lehrkraft kann zwischen responsiven und invasiven Formen unterschieden werden (Walpuski, 2006). Ein Feedback ist responsiv, wenn sich die Lehrkraft erst nach Rückfragen der Schülerinnen und Schüler in die Arbeitsphase einschaltet. Bei invasivem Feedback interveniert die Lehrkraft dagegen ohne explizite Aufforderung der Lernenden. Im Zusammenhang mit selbstgesteuerten Experimentierprozessen konnten beispielsweise die Studien von Walpuski (2006) und Marschner (2011) Hinweise auf die Lernförderlichkeit dieser Unterstützungsmethode geben. Bei ersterer führten vor allem Maßnahmen wie die responsive Rückfragemöglichkeit während der Experimentierphasen (formativ) in Kombination mit einem Vortrag der Lehrkraft nach dem Experimentieren (summativ) zu höheren Lernerträgen (Walpuski, 2006; Walpuski & Sumfleth, 2007). Im zweiten Fall zeigte die Kombination von adaptiven Prompts mit individuellem (schriftlichen, computerbasierten) Feedback zur aktuellen Strategienutzung einen positiven Effekt auf die aktuelle Motivation und den Strategieeinsatz (Marschner, 2011; Marschner et al., 2012). Durch die jeweilige Kombination verschiedener Maßnahmen, ist kein eindeutiger Schluss bezüglich der Wirksamkeit individuellen Feedbacks möglich. Allerdings scheint die Adaptivität von Unterstützungsmaßnahmen ein wichtiger Aspekt zu sein (Thillmann et al., 2009). Individuell angepasstes Feedback kann demnach zur Unterstützung von Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren beitragen. Ausgehend von einer ausreichend ausgeprägten Diagnosekompetenz der Lehrkraft ist individuelles Feedback zudem leichter im Unterricht implementierbar, da es ohne Vorbereitung spontan einsetzbar ist.

2.3.4.3 Strukturierungshilfen

Eine ergänzende Möglichkeit, Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren zu unterstützen sind strukturierende Lernprozesshilfen, auch Strukturierungshilfen genannt. Bei einem Experiment handelt es sich um einen komplexen Prozess, der aus verschiedenen Teilschritten aufgebaut ist (vgl. Kapitel 2.2.1). Um den Lernenden während experimenteller Phasen einen Überblick über den prototypischen und modellhaften Ablauf naturwissenschaftlicher Untersuchungen zu geben und damit eine Orientierungshilfe zu bieten (Walpuski, 2006), können beispielsweise Flussdiagramme eingesetzt werden. Mit Hilfe von Flussdiagrammen können sich Schülerinnen und Schüler beim selbstständigen Experimentieren strukturieren, wodurch das Durchlaufen des Prozesses optimiert werden kann. Das Ziel ist demnach die Unterstützung regulativer Prozesse und damit eine kognitive und metakognitive Entlastung der Lernenden. Wie die Studien von Walpuski (2006)

und Wahser (2008) zeigen, müssen für den erfolgreichen Einsatz von Strukturierungshilfen zunächst adäquate Grundlagen geschaffen werden. Die Verwendung einer Strukturierungshilfe führte ohne eine entsprechende Einführung für die Schülerinnen und Schüler nicht zum erhofften Lernerfolg (Walpuski & Sumfleth, 2007). Ein zugehöriges Training, in dem die Strukturierungshilfe gemeinsam mit den Lernenden konstruiert und der Umgang damit anhand einfacher Beispiele erläutert wurde, führte dagegen zu besseren Ergebnissen, strukturierterem Vorgehen und weniger Fehlern (Wahser & Sumfleth, 2008; Wahser, 2008). Eine mögliche Umsetzung ist beispielsweise bei Wahser und Sumfleth (2008) zu finden.

Neben Flussdiagrammen kann der Experimentierprozess auch durch Formulierung entsprechender Teilaufgaben vorstrukturiert werden. Durch konkrete Aufgabenstellungen können die Schülerinnen und Schüler zum Durchlaufen bestimmter Denkprozesse angeregt werden. In diesem Zusammenhang gibt es einige Studien, welche strukturierte mit nicht strukturierten Lernumgeben vergleichen (vgl. de Jong & van Joolingen, 1998, 191 - 192). Zusammenfassend zeigen die dort zitierten Studien einen Vorteil strukturierter Lernumgebungen im Vergleich zu vollständig unstrukturierten. Darüber hinaus weisen einige Studien darauf hin, dass strukturierte Umgebungen vor allem für schwächere Schülerinnen und Schüler gewinnbringend sind (z. B. Veenman, Elshout & Busato, 1994).

2.3.4.4 Hilfekarten und gestufte Lernhilfen

Eine textbasierte Form der Lernunterstützung beim Experimentieren stellen Hilfekarten dar (siehe auch hard scaffolds). Dabei kann durch diese Hilfen neues Wissen bereitgestellt (Verfügbarkeitsdefizit) oder bereits vorhandenes Vorwissen bzw. bekannte Strategien aktiviert werden (Emden & Koenen, 2016). Im zweiten Fall handelt es sich um nicht-adaptive Prompts, also um Anregungen, die zwar an die Experimentiersituation, nicht aber an individuellen Schwierigkeiten der Lernenden angepasst sind. Bei dem Konzept der Hilfekarten gibt es keinen festgelegten Inhalt. Sie können bedarfsorientiert an den Experimentierprozess angepasst werden, beispielsweise in Form von Hinweisen und Erläuterungen zum methodischen Vorgehen (Emden & Koenen, 2016). Die Hilfen sollten dabei nicht zu textlastig sein und eindeutig sowie sprachlich angemessen formuliert werden (Emden & Koenen, 2016). Der Zeitpunkt, wann Informationen zur Verfügung gestellt werden, scheint dabei ein wichtiger Einflussfaktor zu sein. Informationen, die genau zu dem Zeitpunkt verfügbar sind, an dem sie benötigt werden sind hilfreicher als Informationen die vor der Aufgabenbearbeitung präsentiert werden (D. C. Berry & Broadbent, 1987; de Jong & van Joolingen, 1998; Leutner, 1993).

Eine spezielle Variante der Hilfekarten sind *gestufte Lernhilfen*. Ziel dieser Unterstützungsform ist es, Vorwissen zu aktivieren und die Elaboration der Schülerinnen und Schüler anzustoßen, sachbezogene Informationen zu liefern sowie Hilfestellung bei der Problemstrukturierung zu geben (Hänze, Schmidt-Weigand & Blum, 2007). Aufgaben mit gestuften Lernhilfen haben ihren Ursprung im Konzept der Lösungsbeispiele, welche den Problemlöseprozess der Lernenden nachweislich unterstützen können

(Atkinson, Derry, Renkl & Wortham, 2000; Atkinson, Renkl & Merrill, 2003). Ausgangspunkt dieses Konzepts sind komplexe naturwissenschaftliche Aufgaben- und Problemstellungen, deren Schwierigkeit sich am oberen Leistungsniveau der jeweiligen Lerngruppe orientiert (Franke-Braun, Schmidt-Weigand, Stäudel & Wodzinski, 2008). Damit wird bezweckt, dass kompetente Schülerinnen und Schüler in komplexen Situationen ihr Wissen anwenden und damit ausreichend gefordert werden. Die Aufgaben sollen ferner dafür sorgen, dass auch weniger kompetente Lernende Anreize zum Umgang mit komplexen naturwissenschaftlichen Problemen erhalten und ihnen durch die gestuften Lernhilfen eine erfolgreiche Bearbeitung zu ermöglichen (Hänze, Schmidt-Weigand & Stäudel, 2010). Damit soll auch für schwächere Schülerinnen und Schüler ein Kompetenzerleben ermöglicht werden (Schmidt-Weigand, Franke-Braun & Hänze, 2008). Um ein Autonomieerleben sicherzustellen, sollen die Lernenden selbst über Art und Zeitpunkt der Nutzung der Hilfen entscheiden (Schmidt-Weigand et al., 2008). Damit bieten Aufgaben mit gestuften Lernhilfen „die Möglichkeit, den unterschiedlichen Lernvoraussetzungen der Lernenden gerecht zu werden und Heterogenität abzufedern“ (Forschergruppe Kassel, 2007, S. 42). Damit können diese einen Beitrag zur Differenzierung von Unterricht leisten (Franke-Braun et al., 2008). Eine typische Abfolge umfasst dabei folgende Hilfen:

1. Paraphrasierung und Fokussierung auf den Zielzustand (Beispiel: Erklärt Euch gegenseitig die Aufgabe noch einmal in eigenen Worten!")
2. Fokussierung auf den Ausgangszustand ("Schaut Euch die Informationen auf dem Aufgabentext an!")
3. Elaboration ("Überlegt euch, welche der Eigenschaften am einfachsten zu bestimmen ist!")
4. Aktivierung von Vorwissen ("Erinnert Euch: Wie lautet die Formel, mit der man aus der Masse und dem Volumen die Dichte bestimmt!")
5. Informationsinput ("Die Formel für die Dichte lautet: Dichte = Masse/Volumen.")
6. Visualisierung ("Fertigt eine Skizze des Problems an!")
7. Verifizierung ("Schreibt die einzelnen Schritte noch einmal nacheinander auf!") (Hänze et al., 2007, S. 199–200)

Gestufte Lernhilfen umfassen sowohl inhaltliche als auch lernstrategische Hinweise und bestehen aus zwei Teilen: einer Handlungsaufforderung oder Frage und einer dazugehörigen Antwort (Forschergruppe Kassel, 2006; Franke-Braun et al., 2008). Als letzte Hilfe erhalten die Schülerinnen und Schüler eine Lösungskarte im Sinne einer Musterlösung mit der auch die Richtigkeit der eigenen Lösung überprüft werden kann (Franke-Braun et al., 2008).

Die Lernwirksamkeit dieses Aufgaben- und Unterstützungsformats wurde beispielsweise in der Studie von Schmidt-Borcherding, Hänze, Wodzinski und Rincke (2013) untersucht. Dort wurden 173 Schülerinnen und Schüler auf drei Gruppen aufgeteilt. Eine Gruppe arbeitete in einer vollständig offenen Umgebung (A), die zweite

Gruppe erhielt eine Anleitung (B) und die dritte Gruppe arbeitete mit den gestuften Lernhilfen (C). Die Ergebnisse zeigen, dass der Lernzuwachs der Gruppe B und C den der offenen Gruppe A signifikant überstieg. Ein Vorteil der gestuften Lernhilfen gegenüber dem Arbeiten mit einer Anleitung konnte nicht nachgewiesen werden. Hinsichtlich der gemessenen Motivation schnitt die Gruppe mit den gestuften Hilfen besser ab als Gruppe B.

In der Untersuchung von J. Arnold et al. (2017) wurde die Wirkung gestufter Lernhilfen, diskursiv-reflexiver Unterstützungsmaßnahmen (Concept Cartoons) und deren Kombination, auf die Entwicklung wissenschaftlichen Denkens, Methoden- sowie Fachwissens von insgesamt 220 Schülerinnen und Schülern erforscht. Darüber hinaus wurde die kognitive Belastung der Lernenden beim forschenden Lernen mit den unterschiedlichen Hilfen erhoben. In Concept Cartoons werden verschiedene Figuren dargestellt, welche über bestimmte Sachverhalte diskutieren. Diese Diskussion soll die Schülerinnen und Schüler zu Äußerungen über ihre eigenen Vorstellungen anregen. Die Ergebnisse zeigen signifikante Zuwächse aller Treatmentgruppen im wissenschaftlichen Denken sowie tendenzielle, aber nicht signifikante Zuwächse beim Methoden- und Fachwissen. Die kognitive Belastung der Schülerinnen und Schüler konnte durch jedes der drei Treatments reduziert werden. Diese Befunde zeigen neben der Wirksamkeit gestufter Lernhilfen auch, dass diese und andere Unterstützungsmaßnahmen durchaus zur Reduzierung der kognitiven Belastung beim Experimentieren beitragen können.

2.3.5 Weitere Kriterien

Börlin (2012) konzeptualisiert Experimentieren u. a. als kontextorientierte und reflexive Aktivität und dimensioniert damit die Qualität experimentellen Handelns im Physikunterricht. Unter Kontextorientierung wird hier die Herstellung von Bezügen zwischen lebensweltlichen sowie inhaltlichen Aspekten des Unterrichts auf der einen Seite und dem Experiment auf der anderen Seite verstanden. Aufgabe der Lehrkraft ist es, den Experimentierprozess fachimmanent oder lebensweltlich einzubetten. Fachimmanente Einbettung bedeutet, dass die Lehrkraft ausgehend von vorher behandelten Fachinhalten zum Experiment überleitet und am Ende der Experimentiereinheit wiederum Rückbezüge herstellt. Diese Vorgehensweise dient u. a. dem Zweck, die Intentionen des Experiments sowie die Verbindung zwischen Theorie und Praxis für Schülerinnen und Schüler transparent zu machen (vgl. Kapitel 2.3.2). Die Wirksamkeit der Nachvollziehbarkeit von Experimentieraufgaben konnte beispielsweise von Alexandra Schulz (2011) empirisch nachgewiesen werden (vgl. Kapitel 2.3.2). Mit der Herstellung eines Beziehungsnetzes durch die Verknüpfung mit bereits behandelten Inhalten können der Unterricht angemessen strukturiert und das Lernen erleichtert werden (Börlin, 2012). Unter lebensweltlicher Einbettung wird die Verknüpfung des Experimentierprozesses mit gesellschaftlichen oder historischen Bezugspunkten aus der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler verstanden. Das Konzept der lebensweltlichen Einbettung steht in einem engen Zusammenhang mit dem Begriff *Kontext*, welcher als „eine außerfachliche Situation, die als Ausgangspunkt für die Erarbeitung des fachlichen Inhalts genutzt wird“ (Van Vorst et al., 2015,

S. 30), definiert werden kann. Das Ziel beider Ansätze besteht darin, Aufmerksamkeit und Interesse der Schülerinnen und Schüler zu erzeugen (Börlin, 2012; van Vorst et al., 2015) sowie die wahrgenommene Relevanz der Inhalte zu steigern (Habig, van Vorst & Sumfleth, 2018). Das Interesse der Schülerinnen und Schüler steht in einem engen Zusammenhang mit ihrer intrinsischen Motivation und stellt damit auch einen wichtigen Aspekt in selbstregulierten Lernprozessen dar (Brandstätter, Schüler, Puca & Lozo, 2013). Authentische Kontexte und Problemstellungen können überdies das Alltags- und Fachwissen der Schülerinnen und Schüler aktivieren und so das Lernen begünstigen (Krause & Stark, 2006). Die empirische Studie von Fechner (2009) zeigt, dass die Verwendung lebensweltlicher Kontexte in einer nachweislich lernwirksamen Experimentierumgebung (Rumann, 2005; Wahser, 2008; Walpuski, 2006) zur Aufrechterhaltung themenbezogenen individuellen Interesses und zur Steigerung situativen Interesses geeignet ist. Diese Effekte können teilweise nur für Schülerinnen und Schüler mit hohem Vorwissen bestätigt werden. Lebensweltliche Kontexte führen im Vergleich zu Laborkontexten zu kleinen positiven Effekten auf den Lernerfolg. Dabei profitieren vor allem Schülerinnen von lebensweltlichen Kontexten. Hinsichtlich der Anwendung des Fachwissens profitieren beide Geschlechter von alltagsnahen Zugängen, allerdings in Abhängigkeit ihrer kognitiven Fähigkeiten. Diese Befunde geben Hinweise auf die positiven Einflüsse lebensweltlicher Kontexte auf affektive und kognitive Variablen. Durch die unterschiedlichen Effekte liegt der Schluss nahe, dass dabei nur bestimmte Eigenschaften von Kontexten bedeutsam sind (van Vorst et al., 2015). Um den Einfluss verschiedener Merkmale auf das Interesse der Schülerinnen und Schüler zu erforschen, führten van Vorst, Fechner und Sumfleth (2018) eine quantitative Fragebogenstudie mit Schülerinnen und Schüler aus der 9. Jahrgangsstufe durch. In dieser erhoben die Forscher*innen das situationale Interesse der Proband*innen in Bezug auf die Merkmale Alltagsbezug, Besonderheit und Aktualität von Kontexten sowie das Lernen mit Kontexten im Allgemeinen. Die Ergebnisse der Befragung machen deutlich, dass die gewählten Merkmale als Unterscheidungskriterien geeignet sind, jedoch noch weitere Aspekte in Betracht gezogen werden können. Insgesamt ergibt sich ein Vorteil des Merkmals Besonderheit auf die emotionale Valenz des gemessenen Interessenskonstrukts, während die Aktualität der Kontexte keine signifikanten Effekte aufweist. Ein limitierender Faktor besteht in dieser Studie darin, dass die Schülerinnen und Schüler in textbasierter Form mit den Kontexten konfrontiert wurden und diese nicht zur Einbettung von tatsächlich zu bearbeitenden Aufgaben verwendet wurden. In der weiterführenden experimentellen Studie von Habig et al. (2018) wurde deshalb der Einfluss unterschiedlich kontextualisierter Experimentierumgebungen mit systematisch variierten Öffnungsgrad (besondere vs. alltägliche Kontexte sowie problemorientierte vs. nicht-problemorientierte Experimentiersituation) auf die Interessensentwicklung und den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler untersucht. Die Ergebnisse in Bezug auf das Interesse der Schülerinnen und Schüler zeigen, dass bei Proband*innen mit schlechten Vorleistungen und geringem Fach- und Sachinteresse alltagsbezogene Kontexte zu vermehrter Freude führen. Lernende mit guten Vorleistungen und hohem Interesse bevorzugen dagegen die Arbeit mit besonderen Kontexten. Für Schülerinnen und Schüler mit mittleren Interessensausprägungen kann kein signifikanter Effekt

des Kontextmerkmals gezeigt werden. Alltagsnahe Kontexte werden von den Lernenden als relevanter für ihr eigenes Leben eingeschätzt. Die Untersuchung weist insgesamt einen Vorteil des problemorientierten Ansatzes nach. In Bezug auf den Lernerfolg führt die Kombination nicht problemorientierter Lernumgebungen mit besonderen Kontexten dabei zu den geringsten Zuwächsen. Die gefundenen Interaktionseffekte zwischen Kontextmerkmal und Problemorientierung werfen gemäß der Autor*innen weitere Fragen darüber auf, welcher Kontext unter welchen Bedingungen für welche Lerngruppe geeignet ist. Die Bedeutsamkeit der Beachtung bestimmter individueller Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler wird durch diese differentiellen Befunde erneut deutlich (vgl. Kapitel 2.3.1).

Für Börlin (2012) ist neben der Kontextorientierung auch die Reflexion von Experimentierprozessen ein bedeutsames Qualitätsmerkmal. Erst durch die reflexive Beschäftigung mit den Entwicklungen, die sich innerhalb und zwischen bestimmten Experimentierphasen zeigen, würden diese auch für die Schülerinnen und Schüler sichtbar. In verschiedenen Modellen zum Ablauf eines Forschungszyklus (vgl. z. B. Abbildung 2-10) werden die Reflexion und Kommunikation über die Ergebnisse und den Verlauf von Experimentierprozessen ebenfalls als wichtige Teilprozesse berücksichtigt. So spielen diese Komponenten im SDDS-Modell von Klahr und Dunbar (1988) insbesondere für die Analyse von Evidenzen eine wichtige Rolle (Kapitel 2.2.1). Es lässt sich dabei zwischen der Prozessreflexion und der Ergebnisreflexion unterscheiden (Börlin, 2012). Die Prozessreflexion rückt den eigentlichen Experimentierprozess in den Fokus der Überlegungen. Beispielsweise gilt es in diesem Zusammenhang zu entscheiden, inwiefern ein Experiment zur Untersuchung einer Fragestellung oder Hypothese geeignet war. Hierzu muss u. a. Wissen über Experimentierstrategien wie der Variablenkontrollstrategie angewendet werden, da beispielsweise die interne Validität des Experiments eingeschätzt werden muss. Diese Vorgehensweise kann den Schülerinnen und Schüler ein differenzierteres Bild naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung vermitteln. Ergebnisreflexion meint den Rückbezug der gewonnenen Evidenzen auf die zu Grunde liegende Fragestellung oder Hypothese.

Weitere Kriterien, die bei der Planung von Experimentierprozessen eine Rolle spielen, betreffen organisatorische Rahmenbedingungen (Zeit, Material, Sicherheit) und die Sozialform, in welcher die Schülerinnen und Schüler im Rahmen der Experimentieraufgabe arbeiten. Ein wichtiger Aspekt stellt die zur Verfügung stehende Unterrichtszeit dar. Schülerexperimente nehmen mehr Zeit ein als Demonstrationsexperimente, wobei mit letzteren in der gleichen Zeit mehr Inhalte behandelt werden können (Tesch, 2005). Je mehr Entscheidungen und Aspekte von den Schülerinnen und Schülern selbst übernommen werden, desto mehr Zeit muss für den Experimentierprozess eingeplant werden. Diese Tatsache in Kombination mit dem zeitlichen Druck, die vorgegebenen Lehrplaninhalte auch mehr oder weniger in der vorgesehenen Zeit zu behandeln, mag wesentlich dazu beitragen, dass offene Formen des Schülerexperiments vergleichsweise selten zum Einsatz kommen (Kapitel 2.2.3.1). In Abhängigkeit von anderen Planungsüberlegungen (Thema, Lernziele, Offenheit uvm.) muss die Experimentierzeit gegebenenfalls an die vorhandene Unterrichtszeit angepasst werden.

Ein weiteres organisatorisches Planungskriterium kann das der Lehrkraft zur Verfügung stehende Material sein. Im Zusammenhang mit naturwissenschaftlichen Untersuchungen kann hier vor allem die Beschaffenheit und Herkunft der verwendeten Labormaterialen und Chemikalien verstanden werden. Wie umfangreich die Chemiesammlung ausgestattet ist, hängt im Wesentlichen von den finanziellen Möglichkeiten der Einzelschule ab. Diverse Handreichungen zu Experimenten mit Alltagschemikalien und Experimenten im kleinen Maßstab – sogenannte Microscale-Experimente – stellen eine hilfreiche Variante dar (Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung Dillingen, 2009). Durch die Substitution von Labormaterialien und -chemikalien mit günstigeren und leichter verfügbaren Alternativen (Alltagsmaterialien oder medizinisches Material) können Lehrkräfte auch bei einer schlecht ausgestatteten Sammlung Schülerexperimente in ihren Unterricht einplanen. Neben der Kostenersparnis und der leichteren Verfügbarkeit kann das Zurückgreifen auf Alltagsmaterialien zudem die Authentizität der Experimentierumgebung begünstigen (vgl. Habig et al., 2018).

Eine der wichtigsten organisatorischen Rahmenbedingungen betrifft die Sicherheit beim Experimentieren. Nach der *Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht* ist es die Verpflichtung der jeweiligen Lehrkraft die entsprechenden Sicherheitsbestimmungen einzuhalten und Hinweise auf die Gefährdungen durch den Umgang mit Geräten und Stoffen zu beachten (Kultusministerkonferenz, 2019). Dementsprechend muss die Verwendung bestimmter Stoffe auch in Bezug auf die Disziplin der jeweiligen Schulklasse kritisch geprüft werden. Einerseits ist die Gewährleistung der Sicherheit im Unterricht Aufgabe und rechtliche Verpflichtung der Lehrkraft. Andererseits muss gerade in wenig vorstrukturierten Experimentiersituationen, insbesondere bei methodischer Offenheit, eine genaue Abwägung vollzogen werden, in welchem Rahmen überhaupt eine Offenheit hinsichtlich der zu verwendenden Stoffe implementiert werden kann.

Die verwendete Sozialform ist ein weiteres wichtiges Kriterium. Die Praxisrelevanz dieses Merkmals wird u. a. dadurch deutlich, dass es zu den am häufigsten genannten Aspekten im Rahmen der Unterrichtsplanung von Lehrkräften gehört (Kapitel 2.1.4.1). Es kann beispielsweise zwischen dem Frontalunterricht, der Einzel-, der Partner- sowie der arbeitsteiligen oder arbeitsgleichen Gruppenarbeit unterschieden werden (Kliebisch & Meloefski, 2006). Die Entscheidung welche Sozialform herangezogen werden soll, hängt im Wesentlichen von den Lernzielen und Funktionen des Experiments sowie den Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler ab. Auch organisatorische Aspekte müssen im Rahmen der Planung von Experimentierprozessen miteinbezogen werden. So kann beispielsweise die Gruppengröße an das Vorhandensein einer bestimmten Anzahl oder Menge vorhandener Gerätschaften bzw. Chemikalien geknüpft werden. Im Rahmen experimenteller Unterrichtsformen konnten Studien die Lernwirksamkeit experimenteller Kleingruppenarbeit im Sinne kooperativen Lernens belegen (z. B. Rumann, 2005). Unter kooperativem Lernen kann eine Interaktionsform verstanden werden, „bei der die beteiligten Personen gemeinsam und in wechselseitigem Austausch Kenntnisse und Fertigkeiten erwerben“ (Konrad & Traub, 2016, S. 5). Auch Formen, die auf kooperativer Partnerarbeit beruhen stellten sich unter bestimmten Umständen (z. B. Verwendung gestufter Lernhilfen oder bestimmter Kontextmerkmale) als lernförderlich heraus

(Habig et al., 2018; Schmidt-Borcherding et al., 2013). Im Kompetenzbereich Kommunikation der nationalen Bildungsstandards wird kooperativen Lernformen ebenfalls Rechnung getragen (Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005b).

3 Ziele, Forschungsfragen und Hypothesen

Nach der theoretischen Einführung werden die Ziele des vorliegenden Projekts genauer erläutert und Fragestellungen sowie Forschungshypothesen abgeleitet. Genauere Angaben zu den verwendeten Erhebungsinstrumenten und der methodischen Vorgehensweise sind in Kapitel 4 zu finden.

Wie in Kapitel 2.2.3.1 bereits geschildert, werden im naturwissenschaftlichen Unterricht häufig Demonstrationsexperimente oder kochbuchartige Experimentieranleitungen eingesetzt. Das eigenständige Entwickeln von Experimenten durch die Schülerinnen und Schüler steht dagegen vergleichsweise selten im Fokus des Unterrichtsgeschehens (Reiss et al., 2016). Forschende Formen des Schülerexperiments haben das Potential, einen adäquaten Kompetenzerwerb der Schülerinnen und Schüler zu ermöglichen (vgl. Kapitel 2.3). Das Planen entsprechender Experimentierprozesse kann als ein komplexer iterativer Prozess, in welchem sich die verschiedenen Komponenten des Wissens und Könnens einer Lehrkraft vereinen, verstanden werden (vgl. Kapitel 2.1.2). Diese Planungskompetenz lässt sich im Rahmen der universitären Ausbildung angehender Lehrkräfte fördern (Kapitel 2.1.4.2). Die Ziele der vorliegenden Studie sind die Konzeption und Evaluation eines chemiedidaktischen Hauptseminares an der Universität Regensburg zur Förderung der Planungskompetenz von Gymnasial- und Realschullehramtsstudierenden bezüglich selbstgesteuerter Experimentierprozesse.

3.1 Entwicklung eines wirksamen Seminarkonzepts

Das Hauptziel der vorliegenden Studie ist die Entwicklung eines lernwirksamen Seminarkonzepts, in welchem Chemielehramtsstudierende lernen, (selbstgesteuerte) Experimentierprozesse für Schülerinnen und Schüler zu planen. Damit einhergehend soll das Seminar in der Lage sein, das experimentell-fachdidaktische Wissen (pPCK) der Studierenden zu steigern. Daraus ergibt sich die folgende Forschungsfrage.

Forschungsfrage 1
Inwiefern entwickelt sich das experimentell-fachdidaktische Wissen der Studierenden durch die Teilnahme am Seminar?

Hypothese 1
Durch die Teilnahme am Seminar lässt sich ein Wissenszuwachs bezüglich des experimentell-fachdidaktischen Wissens feststellen.

Zur Überprüfung dieser Hypothese wird das experimentell-fachdidaktische Wissen der Studierenden unmittelbar vor und nach dem Seminar sowie 6 Monate nach dem Seminar erhoben.

Domänenspezifische Selbstwirksamkeitserwartungen können einen Einfluss auf das künftige Handeln der Studierenden (Rabe et al., 2012) und damit auf die Entwicklung

ihres persönlichen fachdidaktischen Wissens (pPCK) haben (vgl. Kapitel 2.1.2). Darüber hinaus ermöglichen diese einen Einblick in den selbsteingeschätzten Lernzuwachs der Studierenden. Daraus ergibt sich die folgende Forschungsfrage:

Forschungsfrage 2
Inwiefern verändern sich die domänenspezifischen Selbstwirksamkeitserwartungen der Studierenden durch die Teilnahme am Seminar?

Hypothese 2
Es lässt sich eine Steigerung der domänenspezifischen Selbstwirksamkeitserwartungen der Studierenden feststellen.

Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurden die domänenspezifischen Selbstwirksamkeitserwartungen bezüglich der Planung und Durchführung von Experimenten sowie bezüglich der Didaktischen Rekonstruktion und deren Umsetzung im Unterricht vor und nach dem Seminar erhoben.

3.2 Förderung und Erfassung experimenteller Planungskompetenz

Von besonderem Interesse ist in dieser Studie die experimentelle Planungskompetenz der Studierenden. Die experimentelle Planungskompetenz kann dabei als das prozedurale fachdidaktische Wissen betrachtet werden, das in konkreten Planungssituationen angewendet werden kann ($ePCK_p$). Um diese zu erheben, wird ein Test herangezogen, in dem die Studierenden selbstständig auf Grundlage standardisierter Vorgaben einen Experimentierprozess planen und verschriftlichen müssen. Zusätzlich werden die von den Studierenden im Rahmen des Seminars entwickelten Entwürfe selbstgesteuerter Experimentierprozesse erhoben. Hinsichtlich der Entwicklung der experimentellen Planungskompetenz ergeben sich folgende Forschungsfragen und Hypothesen:

Forschungsfrage 3
Inwiefern verändert sich die experimentelle Planungskompetenz der Studierenden durch die Teilnahme am Seminar?

Hypothese 3
Die experimentelle Planungskompetenz der Studierenden kann durch die Teilnahme am Seminar gesteigert werden.

Forschungsfrage 4
Inwiefern entwickeln sich die geplanten Entwürfe der Studierenden im Verlauf des Seminars?

Hypothese 4
Die Qualität der Entwürfe steigt mit dem zeitlichen Verlauf des Seminars.

Zur Auswertung der Planungskompetenztests und der im Verlauf des Seminars von den Studierenden entwickelten Experimentierprozesse (Entwürfe) wurde ein Kodiermanual entwickelt, mit dessen Hilfe die Qualität der schriftlichen Planungen der Studierenden eingeschätzt und quantifiziert werden sollte (siehe Kapitel 4.4).

Im Zusammenhang mit dem entwickelten Kodiermanual zur Erfassung der experimentellen Planungskompetenz ergibt sich die folgende Forschungsfrage:

Forschungsfrage 5
Ist das entwickelte Kodiermanual geeignet, die experimentelle Planungskompetenz der Studierenden objektiv, reliabel und valide zu erfassen?

Hypothese 5
Das Kodiermanual ist geeignet, die experimentelle Planungskompetenz…

H 5.1 *… objektiv zu erfassen.*
H 5.2 *… reliabel zu erfassen.*
H 5.3 *… valide zu erfassen.*

Um die Hypothese 5.1 zu untersuchen, wurden Mehrfachkodierungen durchgeführt und hinsichtlich ihrer Übereinstimmung und Intercoder-Reliabilität ausgewertet. Die Objektivität des Kodiermanuals wurde anhand dieser Übereinstimmungsmaße bewertet. Mithilfe verschiedener Koeffizienten wurde darüber hinaus die Reliabilität des Kodiermanuals analysiert. Auf Basis des Refined Consensus Model of PCK (vgl. Kapitel 2.1.2) ist davon auszugehen, dass es einen positiven Zusammenhang zwischen der experimentellen Planungskompetenz und dem experimentell-fachdidaktischen Wissen gibt. Gleichzeitig können Zielorientierungen, Fachspezifische Überzeugungen und Selbstwirksamkeitserwartungen eine filternde Wirkung auf das pPCK und ePCK sowie deren Entwicklung haben. Die Untersuchung der Validität (H 5.3) erfolgte daher über Zusammenhangsanalysen der genannten Variablen.

4 Methodik und Durchführung

Da Teile des Untersuchungsdesigns auf den speziellen Ablauf des Seminars abgestimmt sind bzw. sich aus diesen ergeben, wird im Folgenden zunächst die Konzeption des Seminars genauer vorgestellt (Kapitel 4.1). Anschließend werden in diesem Kapitel das Untersuchungsdesign und die Stichprobe (Kapitel 4.2) sowie die verwendeten Erhebungsinstrumente (Kapitel 4.3) detailliert dargestellt. Abschließend werden in Kapitel 4.4 das für diese Studie erstellte Kodiermanual und die Vorgehensweise bei dessen Entwicklung thematisiert.

4.1 Seminarkonzept

Das Seminarkonzept wurde im Sommersemester 2018 erprobt (Präpilotierung) und an drei aufeinanderfolgenden Semestern, im Wintersemester 2018/19 (Pilotstudie), im Sommersemester 2019 sowie im Wintersemester 2019/20 (Hauptstudie), durchgeführt. Das Seminar fand wöchentlich statt und dauerte pro Termin 135 min. Abhängig vom jeweiligen Semester umfasste das Seminar insgesamt 13 bis 15 Termine. Die Modulbeschreibungen der Universität Regensburg sowohl für Lehramt an Gymnasien als auch für das Lehramt an Realschulen legen die universitären Rahmenbedingungen fest, wie etwa die Benotung bzw. die obligatorischen Abschlusspräsentationen des Seminars. Diese Vorgaben miteinbeziehend wurde der in Tabelle 4-1 dargestellte Ablauf des Seminars entwickelt.

Das Seminar gliedert sich in eine anfängliche Theoriephase, eine zyklisch aufgebaute Praxisphase und eine Abschlussphase. Nach der theoretischen Einführung wurden den Studierenden je drei Lehrplanthemen zufällig zugeteilt. Zu jedem dieser Lehrplanthemen planten die Studierenden in der Praxisphase je zwei selbstgesteuerte Experimentierprozesse. Zur Planung gehören die Auswahl und das Durchführen ausgewählter Experimentieranleitungen sowie die anschließende konkrete Ausarbeitung eines zugehörigen selbstgesteuerten Experimentierprozesses. Diese selbstgesteuerten Experimentierprozesse – im Folgenden auch Planungen oder Entwürfe genannt – umfassen, neben einer bestimmten Auswahl an Chemikalien und (Labor-)Materialien, konkrete Arbeitsmaterialien (Arbeitsblätter, Unterstützungsmaßnahmen etc.) und ein zugehöriges Protokoll mit fachlichen sowie didaktischen-methodischen Beschreibungen und Begründungen. Diese Protokolle wurden an mehreren Stellen im Seminarverlauf in pseudonymisierter Form erhoben.

Die Praxisphase setzt sich aus drei jeweils gleich aufgebauten Zyklen zusammen (siehe Kapitel 4.1.4). In jedem Zyklus der Praxisphase wurden pro Person zwei Entwürfe (Experimentierprozesse) geplant. Insgesamt wurden in einem Semester pro Person sechs verschiedene Entwürfe vorbereitet. Diese wurden im Rahmen des Seminars von anderen Studierenden erprobt und mittels Feedbackbogen (siehe Kapitel 4.1.5) evaluiert. In einer schriftlichen Reflexion wurden diese Rückmeldungen analysiert und damit die eigenen Entwürfe reflektiert und gegebenenfalls überarbeitet. In der Abschlussphase stellten die

Studierenden in einer kurzen Präsentation dem gesamten Kurs einen der sechs überarbeiteten Entwürfe vor.

Tabelle 4-1: detaillierter Ablauf Hauptstudie (Wintersemester 19/20)

Nr.	Inhalt	Phase
1	Einführung, Themenvergabe und Pre-Test	Einführung und Theorie
2	Theoriephase	
3	Experimentierphase und Sicherheitsbelehrung	Praxisphase Zyklus I
4	Anwendungsphase	
5	Reflexionsphase	
6	Experimentierphase	Praxisphase Zyklus II
7	Anwendungsphase	
8	Reflexionsphase	
9	Experimentierphase	Praxisphase Zyklus III
10	Anwendungsphase	
11	Reflexionsphase	
12	Abschlusspräsentationen	Abschlussphase
13	Abschlusspräsentationen	
14	Post-Test	

Um einen detaillierteren Einblick in die Seminarkonzeption zu ermöglichen, werden im Folgenden einzelne Phasen des Seminars bzw. die dafür erstellten und verwendeten Materialien genauer beleuchtet. Nach der Pilotstudie wurden einige Änderungen im Seminarkonzept vorgenommen wurden (vgl. Kapitel 5.7). Der besseren Nachvollziehbarkeit halber werden die konkreten Anpassungen bereits in den nun folgenden Ausführungen thematisiert. Die Tabelle 5-13 zeigt eine Übersicht zu den Veränderungen in der Seminarkonzeption nach der Pilotstudie.

4.1.1 Theoriefolien

Um Experimentierprozesse für eine bestimmte Lerngruppe vorbereiten zu können, ist Wissen über Experimente und deren Einsatz im Unterricht nötig. Dieses Wissen betrachten beispielsweise Gramzow et al. (2013) als wichtigen Aspekt fachdidaktischen Wissens einer Lehrkraft (vgl. Kapitel 2.1.2). Die im Rahmen der Theoriephase vermittelten Inhalte werden im Refined Consensus Model of PCK als collective PCK (cPCK) bezeichnet. Dieses stellt die Grundlage für das persönliche fachdidaktische Wissen (pPCK) einer (angehenden) Lehrkraft dar, welches wiederum die Voraussetzung für das in Planungssituationen anwendbare fachdidaktische Wissen ($ePCK_P$) ist. Die Theoriefolien dienen der

Vermittlung dieser Inhalte und sollen einen wichtigen Grundstein für die Anwendung dieses Wissens im Rahmen der selbstständigen Planungen während der Praxisphase legen.

Konkret wurden in der Theoriephase, welche jeweils im Rahmen eines Seminartermins durchgeführt wurde, Inhalte zum Experimentieren im Chemieunterricht (siehe Kapitel 2.2) und zu ausgewählten, theoriebasierten Kriterien zur Planung selbstgesteuerter Experimentierprozesse vermittelt (siehe Kapitel 2.3). Um einen besseren Einblick in die in der Theoriephase behandelten Inhalte und deren Entwicklung über die Pilotierung und Hauptstudie hinweg zu ermöglichen, werden die behandelten Themen jeweils separat tabellarisch dargestellt. Ausgehend von der Präpilotierung mit vier Teilnehmer*innen, in der die anfänglich vermittelten Inhalte und das prinzipielle Seminarkonzept erprobt wurden, ergaben sich für die Pilotstudie folgende theoretische Inhalte:

Tabelle 4-2: Übersicht theoretische Inhalte Pilotstudie

Übergeordnetes Thema	**Inhalte**
Aspekte naturwissenschaftlichen Experimentierens	• Definition Experiment • Variablen beim Experimentieren • Hypothesengeleiteter Experimentierprozess • Mögliche Phasen beim Experimentieren
Einordnung des Schülerexperiments im Chemieunterricht	• Übersicht zum Experimentieren im Chemieunterricht • Schülerexperimente • Aktuelle Lage • Probleme beim Experimentieren
Strukturierungshilfe zur Entwicklung schülerzentrierter Experimentierprozesse	• Sachanalyse • Analyse der Lerngruppe • Ziele und Kompetenzen • Offenheit • Unterstützung • Einbettung • Aufgabenschwierigkeit

Die grundsätzlich positiven Ergebnisse der abschließenden Evaluation der Pilotierung in Bezug auf die Theoriephase (vgl. Kapitel 5.6) führten dazu, dass nur kleinere Veränderungen in den Theoriefolien vorgenommen wurden. Die Anpassungen der PowerPoint-Folien geschahen primär hinsichtlich ihrer Reihenfolge und gestalterischer Aspekte. Um die Studierenden bereits in der Theoriephase aktiv werden zu lassen, wurden darüber hinaus ab der Hauptstudie Umfragen und zusätzliche Aufgaben mit dem Tool „Poll Everywhere“ in die Folien integriert. Unter Berücksichtigung weniger redaktioneller Anpassungen in den Theoriefolien nach der Hauptstudie im Sommersemester 2019 wurden in der Hauptstudie im Wintersemester 2019/20 die in Tabelle 4-3 dargestellten Inhalte behandelt.

Tabelle 4-3: Übersicht theoretische Inhalte Hauptstudie

Übergeordnetes Thema	Inhalte
Das Experiment im Chemieunterricht.	• Definition Experiment • Funktionen von Experimenten • Hypothesengeleiteter Experimentierprozess • Mögliche Phasen beim Experimentieren • Experimentelle Teilkompetenzen • Identifikation und Kontrolle von Variablen • Probleme beim Experimentieren • Aktuelle Lage im naturwissenschaftlichen Unterricht • Kritik an rezeptartigen Experimentieranleitungen • Probleme und Konsequenzen
Kriterien zur Planung selbstgesteuerter Experimentierprozesse	• Fachliche Klärung • Lerngruppenanalyse • Ziele, Kompetenzen und Zielklarheit • Organisatorisches und Sicherheitsaspekte • Offenheit • Unterstützung • Einbettung
Planungshilfe mit Beispiel	• Vorstellung der Planungshilfe und Verknüpfung mit den genannten Kriterien zur Planung selbstgesteuerter Experimentierprozesse • Anwendung der Planungshilfe an einem konkreten Beispiel

Die für die Hauptstudie verwendeten PowerPoint-Folien, welche die behandelten Inhalte im Detail zeigen, können dem Anhang entnommen werden (Kapitel 10.3).

4.1.2 Konzept zur Planung selbstgesteuerter Experimentierprozesse

Die Studie von Zierer et al. (2015) zeigt, dass Studierende, welche mit einem Planungsmodell arbeiten, insbesondere mehr Überlegungen hinsichtlich der Lerngruppe und der Lernziele anstellen. Um die Studierenden bei der Planung der Experimentierprozesse zu unterstützen, wurde eine Planungshilfe (Abbildung 4-1) entwickelt, welche die behandelten Kriterien zur Planung von selbstgesteuerten Experimentierprozessen in Form eines Flussdiagramms in eine logische Reihenfolge bringt.

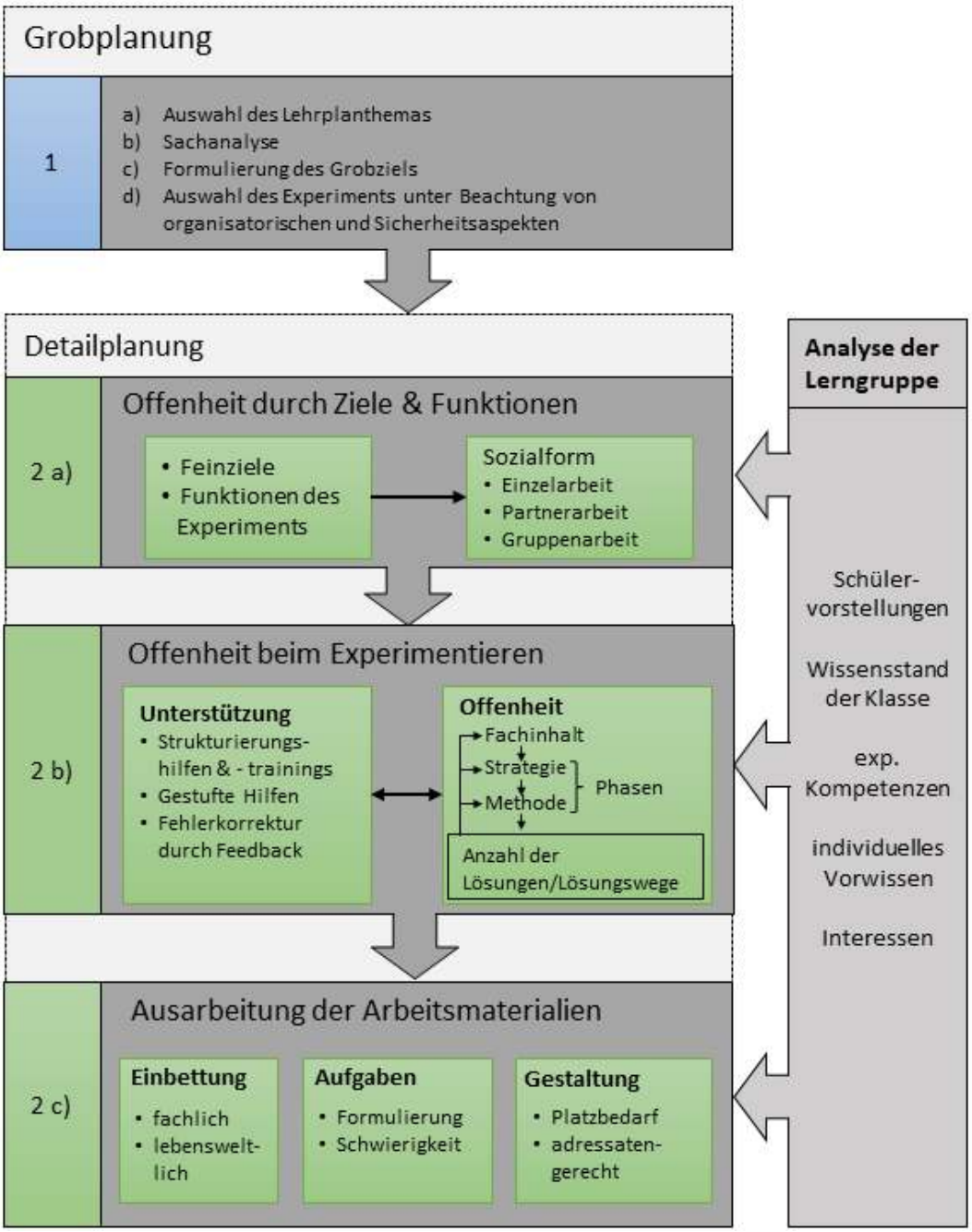


Abbildung 4-1: Planungshilfe – Pilotstudie

Die Planungshilfe der Pilotstudie gliederte sich in eine vorausgehende Grobplanung und eine nachgeschaltete Detailplanung. Im Rahmen der Grobplanung erfolgte die Auswahl des Themengebiets, des angestrebten Hauptlernziels sowie geeigneter Experimentieranleitungen. In der Detailplanung wurden Feinlernziele formuliert und fand u. a. die Öffnung des Experimentierprozesses statt.

Diese Planungshilfe wurde in der Pilotstudie gemeinsam mit den Kriterien zur Planung selbstgesteuerter Experimentierprozesse vorgestellt (vgl. Tabelle 4-2). Um den Studierenden eine Hilfe bei der Öffnung zu bieten, wurde ihnen zusätzlich ein Flussdiagramm zur Öffnung von Experimentierprozessen zur Verfügung gestellt (Abbildung 4-2), welches auf den Kategorien zur Einordnung offener Experimentierumgebungen von Priemer (2011) beruht (siehe Kapitel 2.3.3).

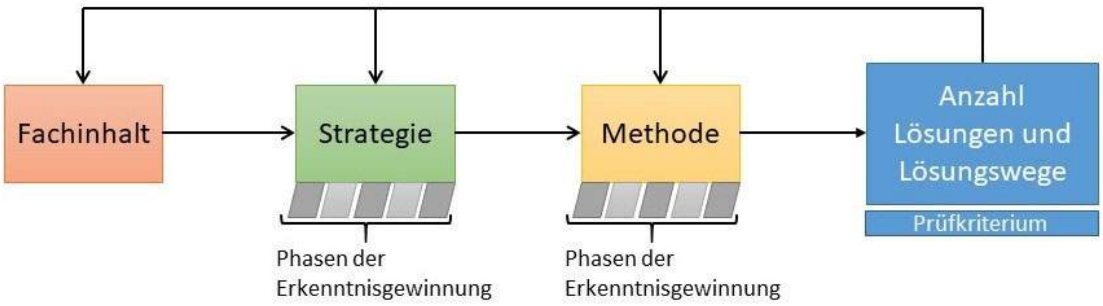


Abbildung 4-2: Vorgehensweise bei der Öffnung – Pilotstudie

Dieses Flussdiagramm schlug eine schrittweise Prüfung der Öffnung hinsichtlich des Fachinhalts, der Strategie und der Methode vor und mündete in dem Prüfkriterium Anzahl der Lösungen und Lösungswege. Letzteres ermöglichte eine rückblickende Überprüfung des tatsächlichen Öffnungsgrades des Experimentierprozesses (Priemer, 2011). Entscheidungen hinsichtlich der Öffnung der Experimentierphasen sollten dabei zusammen mit der Strategie und der Methode getroffen werden.

Mittelmäßige Werte in der abschließenden Evaluation hinsichtlich des Einsatzes der Planungshilfe legten die Vereinfachung dieser nahe (vgl. Kapitel 5.6 und 5.7). Aus diesem Grund wurde sowohl die Planungshilfe als auch das Flussdiagramm zur Öffnung von Experimentierprozessen für die Hauptstudie überarbeitet (Abbildung 4-3 und Abbildung 4-4). Um die Planungshilfe in den Fokus zu rücken, wurde in der Hauptstudie, anders als in der Pilotstudie, der Umgang mit der Planungshilfe anhand eines Beispiels in einem eigenen Kapitel erläutert (vgl. Tabelle 4-3). Diese Vorgehensweise hatte den Zweck, die Akzeptanz und damit die Wahrscheinlichkeit der Nutzung der Planungshilfe seitens der Studierenden zu erhöhen. Auch die Vorgehensweise bei der Öffnung von Experimentierprozessen (Abbildung 4-2) wurde für die Verwendung in der Hauptstudie angepasst. Dabei wurden die Kategorien nach Priemer (2011) beibehalten und deren Reihenfolge im Flussdiagramm überarbeitet. Da die Strukturierung eines Experimentierprozesses häufig über die Experimentierphasen (siehe Kapitel 2.2.1) erfolgt, wurde die Öffnung der Phasen unter Zuhilfenahme strategischer und methodischer Entscheidungen eingeführt. Dies ließ einen intuitiveren Zugang zum Konzept der Offenheit und zur Öffnung des Experimentierprozesses zu als es noch in der Pilotstudie der Fall war. Dabei verlieren die Aspekte Strategie und Methode keineswegs an Bedeutung. Die zwangsläufigen Überschneidungen dieser beiden Aspekte mit der Offenheit hinsichtlich der Experimentierphasen ließen sich auf diese Art besser berücksichtigen.

Die Struktur der überarbeiteten Planungshilfe basierte auf dem Konzept der Didaktischen Rekonstruktion (Kapitel 2.1.3.3) und wurde hinsichtlich der Planung selbstgesteuerter Experimentierprozesse konkretisiert. Diese Variante stellt ein Kernelement der Seminarkonzeption dar und wird im Folgenden kurz erläutert:

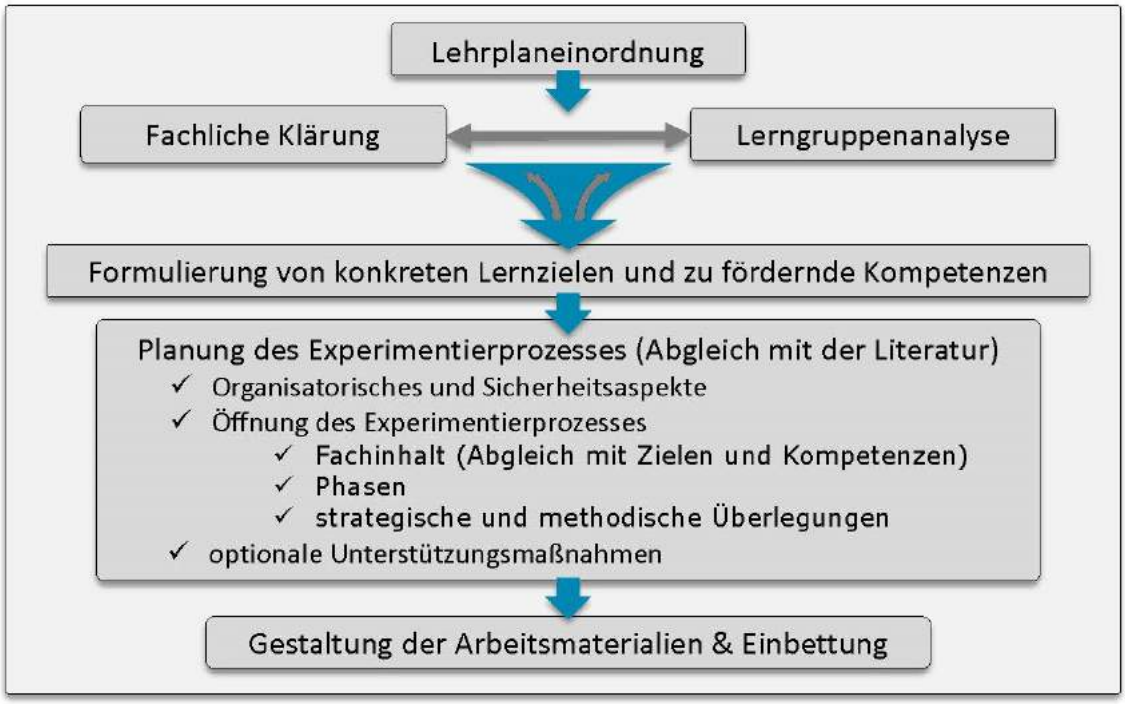


Abbildung 4-3: Überarbeitete Planungshilfe – Hauptstudie

Nach einer Lehrplaneinordnung zur Festlegung des Themengebiets sollten durch einen Aushandlungsprozess zwischen fachlicher Perspektive und Lernerperspektive bestimmte konkrete Lernziele ausgearbeitet und formuliert werden. Diese Lernziele sollten durch Einsatz experimenteller Lernumgebungen erreicht werden können. Sowohl inhaltliches Vorwissen als auch das Wissen und der Einsatz von Strategien spielen beim selbstregulierten Lernen durch Experimentieren eine bedeutsame Rolle (vgl. Kapitel 2.3.1). Aus diesem Grund sollten diese und andere kognitive und affektive Merkmale der Lernenden als Ausgangspunkt der Planung dienen. Auf Grundlage der formulierten Lernziele und einer Auswahl recherchierter Experimentieranleitungen sollten weitere Entscheidungen hinsichtlich des Experimentierprozesses vorgenommen werden. Davor galt es, organisatorische Aspekte (Gruppengröße, Sozialform, räumliche und zeitliche Rahmenbedingungen, Menge vorhandener Chemikalien und (Labor-)Materialien) und Sicherheitsaspekte einzubeziehen. Anschließend sollte der Experimentierprozess strukturiert und schrittweise geöffnet werden.

Das Formulieren konkreter Lernziele sowie das darauf aufbauende Strukturieren und Öffnen des Experimentierprozesses nimmt im Modell der Didaktischen Rekonstruktion die Rolle der didaktischen Strukturierung ein (Kattmann et al., 1997). Nach bzw. mit der Öffnung des Experimentierprozesses galt es entsprechende Unterstützungsmaßnahmen zu erstellen, um auch schwächeren Schülerinnen und Schülern ein mehr oder weniger selbstständiges Durchlaufen des Experimentierprozesses zu ermöglichen. Auch sollte die Motivation für diese Schüler*innengruppe aufrecht erhalten werden (Hänze et al., 2010). Dafür eignen sich beispielsweise Hilfekarten, die die Schülerinnen und Schüler bei Bedarf heranziehen können und durch deren Einsatz neben Informationsinput vor allem auch eine Anregung vorhandenen Vorwissens und bekannter Strategien intendiert

wird (Emden & Koenen, 2016). Diese Überlegungen sollten in der konkreten Ausarbeitung der Arbeitsmaterialien münden (vgl. Abbildung 4-3). Die beim Abgleich zwischen Schülerperspektive und fachlicher Perspektive erfassten Verknüpfungsmöglichkeiten und Anschlussstellen zu bereits gelernten Inhalten oder lebensweltlichen Aspekten der Schülerinnen und Schülern sollten mit dem Experimentierprozess in Verbindung gebracht und damit eine gut eingebettete und zielklare Experimentiersituation geschaffen werden (Börlin, 2012).

Strukturierung und Öffnung von Experimentierprozessen

Sofern dies mit den Lernzielen vereinbar ist, sollten zu Beginn Überlegungen hinsichtlich einer fachinhaltlichen Öffnung angestellt werden. Konkret kann das bedeuten, dass den Schülerinnen und Schülern Entscheidungsspielräume hinsichtlich der zu untersuchenden Aspekte gegeben werden (vgl. Kapitel 2.3.3). Damit kann der Vorteil verbunden sein, zur selben Zeit mehrere unterschiedliche Untersuchungen zu einem übergeordneten Thema von unterschiedlichen Kleingruppen durchführen zu lassen. Dies steigert zum einen die Bedeutung der Ergebnisse der einzelnen Gruppen und macht das Behandeln mehrerer Teilaspekte innerhalb einer Experimentierstunde ohne erheblichen zeitlichen Mehraufwand möglich. Die Öffnung des Fachinhalts ist zwar nicht für jedes Thema gleichermaßen geeignet, stellt aber eine Differenzierungsmöglichkeit dar, bei der auch die unterschiedlichen Interessen der Schülerinnen und Schüler miteinbezogen werden können. In jedem Fall sollte darauf geachtet werden, dass den Schülerinnen und Schülern nicht suggeriert wird, dass die Daten aus einem einzelnen Experiment bereits genügend Evidenz liefern, um Theorien zu bestätigen oder zu widerlegen (vgl. Höttecke & Rieß, 2015). Die Entscheidung ob eine fachinhaltliche Offenheit eingeplant wird, nimmt Einfluss auf die restlichen Entscheidungen hinsichtlich der Offenheit. So waren beispielsweise methodische (z. B. die Vorauswahl bestimmter zielführender oder nicht zielführender Chemikalien und Labor- oder Alltagsmaterialien) und strategische Aspekte (z. B. Auswahl bestimmter notwendiger Experimentierschritte oder die Festlegung auf ein qualitatives oder quantitatives Vorgehen) an die fachinhaltliche Offenheit anzupassen.

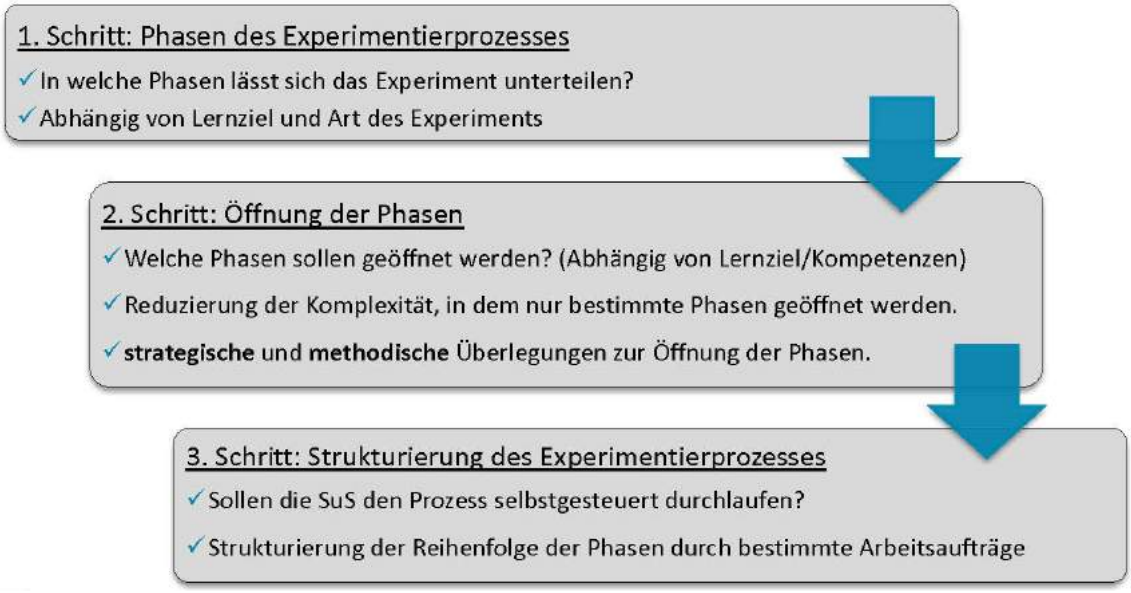


Abbildung 4-4: Schritte zur Öffnung von Experimentierprozessen – Hauptstudie

Im weiteren Verlauf galt es, in Abhängigkeit der Funktionen und Lernziele und abhängig davon, ob eine fachliche oder eine Prozessebene im Fokus steht (Koenen, 2016), den Experimentierprozess zu strukturieren. Das bedeutet, es sollte zunächst festgelegt werden, welche Experimentierphasen für den jeweiligen Experimentierprozess relevant sind und herangezogen werden sollen (vgl. Abbildung 4-4). Welche Experimentierphasen als sinnvoll eingestuft werden, musste von Fall zu Fall geprüft werden und wurde neben dem Kenntnisstand der Schülerinnen und Schüler auch durch die jeweilige Zielsetzung bzw. Funktion, welche der Experimentierprozess einnimmt, bedingt (Maurer & Rincke, 2013). Beispielsweise ist das anfängliche Aufstellen von Hypothesen nicht in jeder Experimentiersituation gleichermaßen sinnvoll, da ein exploratives (hypothesengenerierendes) Vorgehen – abhängig vom Wissensstand der Schülerinnen und Schülern – in manchen Fällen zu bevorzugen ist. In diesem Fall würde der Teilprozess der Hypothesenbildung nicht zur Strukturierung des Experimentierprozesses herangezogen werden bzw. zum Ende des Experimentierprozesses verschoben werden (vgl. Klahr & Dunbar, 1988). Auch die Detailliertheit der Strukturierung des Experimentierprozesses wird von den Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler bestimmt. So kann es im Anfangsunterricht dienlich sein, zunächst einen eher gröberen Ablauf einzuführen, während in höheren Jahrgangsstufen eine Ausdifferenzierung des Prozesses, auch hinsichtlich verschiedener Auswertungsmethoden, stattfinden kann. Im Anschluss an diese Strukturierung sollte eine mögliche Öffnung der festgelegten Phasen schrittweise geprüft werden. Da die Aspekte Phasen, Strategie und Methode in einem sehr hohen Grad miteinander verknüpft sind (Priemer, 2011), scheint ihre strikte Trennung nicht plausibel. Die Öffnung der Phasen lässt sich, in Abhängigkeit von der Öffnung des Fachinhalts, durch strategische und methodische Entscheidungen bewerkstelligen und hängt wiederum von den Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler sowie von den aufgestellten Lernzielen ab (Koenen, 2016).

Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt darin, dass den Schülerinnen und Schülern immer nur jene Phasen, Strategien oder Methoden zur selbstständigen Bearbeitung überlassen werden, welche auch gezielt gelernt, vertieft oder angewandt werden sollen. Abhängig vom Leistungsstand der Lerngruppe kann die Komplexität der Experimentieraufgabe durch die Vorgabe bzw. Öffnung einzelner Aspekte reduziert bzw. erhöht werden. Da auch das Wissen über einen typischen bzw. aus epistemologischer Sicht logischen Ablauf von Experimentierprozessen ein Lernziel darstellen kann, sollte in einem letzten Schritt entschieden werden, in welchem Ausmaß sich die Schülerinnen und Schüler selbstständig beim Experimentieren strukturieren müssen. Auf der einen Seite steht dabei das vollständig vorstrukturierte Laborjournal, in dem jede einzelne Experimentierphase durch Überschriften oder entsprechende Aufgabenstellungen angeleitet wird. Auf der anderen Seite steht ein Experimentierprozess, in dem beispielsweise eine Frage- oder Problemstellung vorgegeben wird. Welche Schritte bei der Problemlösung durchlaufen werden, bleibt jedoch den Schülerinnen und Schülern selbst überlassen. Das Arbeiten mit einer Strukturierungshilfe (Wahser, 2008; Walpuski, 2006) kann dabei einen Mittelweg darstellen. Durch abschließende Überprüfung der Anzahl der Lösungen und Lösungswege sollte im Anschluss die tatsächliche Offenheit des Experimentierprozesses eingeschätzt werden.

Adaption des Konzepts von Priemer (2011)

Die Konzeptualisierung nach Priemer (2011) dient der Kategorisierung von offenen Experimentierumgebungen im Fach Physik, ist aber auch geeignet, um die Offenheit chemiespezifischer Experimentierprozesse einzuordnen bzw. zu planen. Vor allem bei den Aspekten Fachinhalt, Phasen, Anzahl der Lösungen und Lösungswege sowie Strategie handelt es sich um übergeordnete Prinzipien und Überlegungen, die gleichermaßen für alle Naturwissenschaften gelten. Bei dem Aspekt Methode wurde im Rahmen der Seminarkonzeption eine domänenspezifische Anpassung vorgenommen. Hier sind aus Sicht der Chemie nicht nur Entscheidungen hinsichtlich der Materialien, sondern auch der bereitgestellten Chemikalien zu treffen. Diese Entscheidungen gehen mit einer strengen Prüfung der Gefahren einher, die durch Kombination bestimmter Chemikalien entstehen und durch einen geöffneten Experimentierprozess (bspw. ohne detaillierte Versuchsanleitung) begünstigt werden können. Neben dieser Adaption wurde noch eine weitere vorgenommen, welche spezifische, in der Chemie bedeutsame Nachweisreaktionen thematisiert. Die Öffnung hinsichtlich der Planungsphase im Sinne einer Variation der Experimentieranleitung eines einzelnen Nachweises sollte hinterfragt werden, da es sich hierbei meist um sehr strikte Vorgehensweisen handelt, welche klar definierte Zusammensetzungen und Bedingungen erfordern. Die Entwicklung eines solchen Nachweises durch die Schülerinnen und Schüler kann zwar eine mögliche Zielsetzung für den Experimentalunterricht sein, stellt jedoch in der Regel eine sehr komplexe Aufgabe dar, welche im Regelunterricht selten Anwendung finden wird. Sollte dennoch eine Öffnung der Planungsphase angestrebt werden, so kann durch Kombination verschiedener Nachweisreaktionen, welche den Schülerinnen und Schülern in Form von Anleitungen zur Verfügung gestellt

werden, dennoch eine selbstgesteuerte problemorientierte Experimentiersituation geschaffen werden. Ein Beispiel einer solchen Vorgehensweise findet sich bei Koenen und Kirstein (2017). In der hier vorgestellten Experimentierumgebung sollen die Schülerinnen und Schüler ein unbekanntes Gas identifizieren, indem sie überlegt und mehr oder weniger selbstgesteuert zur Verfügung gestellte Nachweisreaktionen für ihre Untersuchung auswählen und nutzen.

4.1.3 Beispiele und Musterprotokoll

Um das Konzept der Offenheit von Experimentierprozessen für die Studierenden greifbarer zu machen, wurden für die Hauptstudie drei Beispiele zum Themengebiet „Struktur-Eigenschaft-Beziehungen der Alkanole“ entwickelt, welche sich systematisch hinsichtlich ihres Öffnungsgrades unterscheiden (siehe Kapitel 10.4). Damit sollte den Studierenden ein Einblick in die Variations- und Entscheidungsmöglichkeiten geboten werden, die sich durch das Öffnen von Experimentierprozessen ergeben. Diese drei Beispiele (eher geschlossene Variante, eher vorskizzierte Variante und eher offene Variante) wurden in der Theoriephase jeweils kurz vorgestellt und von den Studierenden in Kleingruppen mit Hilfe des Einordnungsrasters aus dem Feedbackbogen (siehe Kapitel 4.1.5) hinsichtlich ihrer Offenheit analysiert und im Anschluss im Plenum besprochen.

Alle drei Beispiele beinhalteten eine Experimentierumgebung, in der die Auswirkung bestimmter struktureller Eigenschaften der Alkanole auf ihre physikalischen Eigenschaften systematisch untersucht werden können. Eine von den Studierenden im Rahmen der Protokolle zu erstellende Sachanalyse könnte wie folgt aufgebaut sein.

Alkohole sind organische Verbindungen, die eine oder mehrere OH-Gruppen im Molekül enthalten (Latscha, Kazmaier & Klein, 2016). Die Alkanole stellen den Teil der Stoffklasse der Alkohole dar, welche man formal aus den entsprechenden Alkanen erhält, in dem ein oder mehrere Wasserstoffatome durch OH-Gruppen ersetzt werden. Je nachdem, wie viele OH-Gruppen in einem Molekül vorhanden sind, spricht man von ein -, zwei - oder entsprechend mehrwertigen Alkoholen (Schirmeister, Schmuck, Wich & Bamberger, 2016). Hinsichtlich der Stoffeigenschaften der Alkanole lässt sich feststellen, dass diese im Vergleich zu den entsprechenden Alkanen höhere Siedepunkte und deutlich andere Lösungseigenschaften besitzen (Schirmeister et al., 2016). Der Grund dafür ist die charakteristische OH-Gruppe. Durch die hohe Elektronegativität des Sauerstoffs im Vergleich zum Wasserstoff, weist das Sauerstoffatom eine negative und das Wasserstoffatom eine positive Partialladung auf. Es entsteht ein Dipol, der mit den Dipolen anderer Hydroxy-Gruppen in Form von Wasserstoff-Brücken wechselwirken kann (Schirmeister et al., 2016).

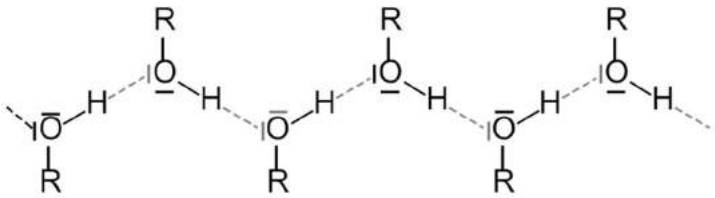


Abbildung 4-5: Assoziation der Moleküle über Wasserstoff-Brückenbindungen (Latscha, Kazmaier & Klein, 2016)

Die gute Wasserlöslichkeit kurzkettiger Alkohole beruht darauf, dass auch zwischen den Wasser- und Alkohol-Molekülen Wasserstoffbrücken ausgebildet werden können (Breitmaier & Jung, 2012). Der unpolare Alkylrest sorgt bei kurzkettigen Alkoholen dafür, dass sie auch in unpolaren Lösungsmitteln (wie Alkanen) löslich sind. Der Einfluss des unpolaren Kohlenwasserstoffrestes kompensiert mit steigender relativer Molekülmasse die Polarität der OH-Gruppe, sodass Alkohole mit längerer Kohlenstoff-Kette in ihren Eigenschaften stärker den jeweiligen Alkanen ähneln (Schirmeister et al., 2016). Beispielsweise werden die Alkohole mit zunehmender Kettenlänge immer viskoser, da die van-der-Waals-Wechselwirkungen zwischen den Alkylgruppen (wie bei den Alkanen) steigt. Ihre Löslichkeit in Wasser nimmt mit steigender Kettenlänge ab (Breitmaier & Jung, 2012). Während die kurzkettigen Alkanole bis 1-Propanol noch unbegrenzt in Wasser löslich sind, nimmt die Löslichkeit in Wasser ab 1-Butanol mit steigender Kette ab. 1-Decanol ist bereits unlöslich in Wasser (siehe Tabelle 4-4).

Tabelle 4-4: Eigenschaften primärer Alkohole (Breitmaier & Jung, 2012)

Summenformel	IUPAC	Trivialname -alkohol	Schmelzpunkt ° C	Siedepunkt ° C (1011 mbar)	Löslichkeit g/100 g H_2O
CH_3OH	Methanol	Methyl-	- 97	64,5	unbegrenzt
C_2H_5OH	Ethanol	Ethyl-	- 115	78,2	unbegrenzt
C_3H_7OH	1-Propanol	n-Propyl-	- 126	97	unbegrenzt
C_4H_9OH	1-Butanol	n-Butyl-	- 90	118	7,9
$C_5H_{11}OH$	1-Pentanol	n-Amyl-	- 78,5	138	2,3
$C_6H_{13}OH$	1-Hexanol	n-Hexyl-	- 52	156	0,6
$C_7H_{15}OH$	1-Heptanol	n-Heptyl-	- 34	176	0,2
$C_8H_{17}OH$	1-Octanol	n-Octyl-	- 15	195	0,05
$C_{10}H_{21}OH$	1-Decanol	n-Decyl-	6	288	unlöslich

Die Anzahl der Hydroxy-Gruppen hat sowohl einen Einfluss auf die Löslichkeit als auch auf die Viskosität des jeweiligen Alkanols. Je mehr Hydroxy-Gruppen ein Alkanol besitzt, desto besser löst er sich in Wasser, da mehr Wasserstoff-Brücken zwischen den Hydroxy-Gruppen des Alkanols und den Wassermolekülen ausgebildet werden können. Die Erhöhung der zwischenmolekularen Wechselwirkungen sorgt für eine höhere Viskosität mit steigender Anzahl an OH-Gruppen.

Für die Beispiele wurde eine Einschränkung auf die Kettenlänge sowie die Anzahl der Hydroxygruppen als Struktureigenschaften (unabhängige Variablen) und die Löslichkeit in polaren bzw. unpolaren Lösungsmitteln sowie die Viskosität als physikalische Stoffeigenschaften (abhängige Variablen) vorgenommen. Die beiden abhängigen Variablen „Viskosität“ und „Löslichkeit“ sind gut beobachtbare Stoffeigenschaften, welche mit in der Schule üblicher Laborausstattung und über unterschiedliche Wege untersucht werden können. Prinzipiell ist in beiden Fällen sowohl ein qualitativer (es löst sich mehr oder weniger; viskoser oder weniger viskos) als auch ein quantitativer Zugang (gelöste Menge an Alkohol; Fließgeschwindigkeit) denkbar, welche in die strategischen Überlegungen zur Öffnung herangezogen werden können. Die Kettenlänge der Alkanole und die Anzahl ihrer OH-Gruppen sind durch eine entsprechende Auswahl der Chemikalien variierbar. Sie stellen in den Untersuchungen mögliche unabhängige Variablen dar, welche bewusst kontrolliert oder manipuliert werden müssen. Als Musterlösungen wurden bei der Löslichkeitsuntersuchung ein qualitativer Ansatz und bei der Viskositätsuntersuchung ein quantitativer Ansatz gewählt, welche in Teil A des Musterprotokolls genauer beschrieben werden. Die Experimentierumgebungen lassen auch andere Herangehensweisen zu.

Eher geschlossene Variante

Für dieses Beispiel wurden sehr wenige Entscheidungsspielräume für die Schülerinnen und Schüler eingeplant. Der Fokus lag hier bei der Durchführung einer vorgegebenen Versuchsanleitung, mit der eine ebenfalls vorgegebene Hypothese überprüft bzw. die vorgegebene Fragestellung beantwortet werden soll. Diese Fragestellung thematisierte den Zusammenhang zwischen der Kettenlänge der Alkanole und ihrer Löslichkeit in polaren bzw. unpolaren Lösungsmitteln. Damit gab es keine Wahlfreiheit hinsichtlich des Untersuchungsgegenstandes (fachinhaltlich geschlossen). Entscheidungen hinsichtlich strategischer und methodischer Aspekte wurden durchwegs von der Lehrkraft getroffen. Lediglich die Phase der Auswertung und Schlussfolgerung bzw. das Formulieren eines Erklärungsansatzes sollte durch die Schülerinnen und Schüler geschehen. Die Experimentierphasen wurden durch das vorstrukturierte Arbeitsblatt vollständig angeleitet. Hilfekarten oder andere optionale Unterstützungsmaßnahmen wurden bei diesem Beispiel aufgrund der vielen Vorgaben nicht eingeplant.

Eher offene Variante

Im Gegensatz zur eher geschlossenen Variante wurden bei diesem Beispiel viele Entscheidungen an die Schülerinnen und Schüler abgetreten. Die Lernenden sollten je eine der vorgeschlagenen Struktureigenschaften und der physikalischen Stoffeigenschaften auswählen und dazu eine passende Fragestellung entwickeln (fachinhaltlich vorskizziert). Daraus sollten die Schülerinnen und Schüler eine überprüfbare Hypothese ableiten. Auch die Planung, Durchführung und Dokumentation der Untersuchung lag in den Händen der Schülerinnen und Schüler. Es gab zwar eine Vorauswahl an Chemikalien und Materialien, welche aber keine bestimmte Vorgehensweise oder Auswahl fest vorschrieb. Damit waren methodische Aspekte vorskizziert. Strategische Entscheidungen waren bei dieser

Variante in hohem Maße von den Schülerinnen und Schülern zu treffen. Beispielsweise oblagen die Identifikation und Kontrolle von bedeutsamen Variablen den Schülerinnen und Schülern. Auch die Wahl eines angemessenen Ansatzes (qualitativ oder quantitativ) blieb den Schülerinnen und Schülern überlassen. Auswertung, Schlussfolgerung und Erklärung waren in einer ähnlichen Weise vorskizziert wie in der eher geschlossenen Variante. Auch in der eher offenen Variante wurden alle zu durchlaufenden Experimentierphasen durch das vorstrukturierte Arbeitsblatt angeleitet. Durch den hohen Öffnungsgrad ergab sich ein Experimentierprozess, welcher eine gänzlich andere Zielsetzung verfolgt wie die eher geschlossene Variante und einen deutlich höheren Schwierigkeitsgrad als diese aufwies. Deshalb wurden für diese Variante gestufte Hilfekarten für die Formulierung der Fragestellungen und Hypothesen, für die Planung des Experiments, für den Aufbau und die Durchführung sowie für die Auswertung entwickelt, welche sowohl metakognitive als auch kognitive Hilfen beinhalten.

Eher vorskizzierte Variante und Musterprotokoll

Als weiteres Beispiel wurde den Studierenden die eher vorskizzierte Variante vorgestellt. In dieser Variante wurden die Entscheidungen der Schülerinnen und Schüler stärker gelenkt und eingeschränkt als in der offenen Variante. Sie enthielt aber noch mehr selbstgesteuerte Experimentierphasen als die eher geschlossene Variante. So wurde in diesem Fall die Auswahl des Untersuchungsgegenstandes auf den Zusammenhang zwischen der Kettenlänge der Alkanole und ihrer Viskosität oder ihrer Löslichkeit als physikalische Eigenschaften reduziert. Damit gab es eine Einschränkung der fachinhaltlichen Offenheit im Vergleich zur eher offenen Variante. Die Fragestellung war dann im Rahmen der fachinhaltlichen Offenheit vorgegeben. Für die Hypothesenbildung wurde in Anlehnung an interaktive Experimentierumgebungen (de Jong & van Joolingen, 1998; van Joolingen, 1999) ein sogenanntes „Hypothesenblatt“ entwickelt. Auf diesem waren vorformulierte Textausschnitte möglicher Hypothesen zu finden, welche die Schülerinnen und Schüler durch Ankreuzen beliebig kombinieren können (vgl. Abbildung 4-6).

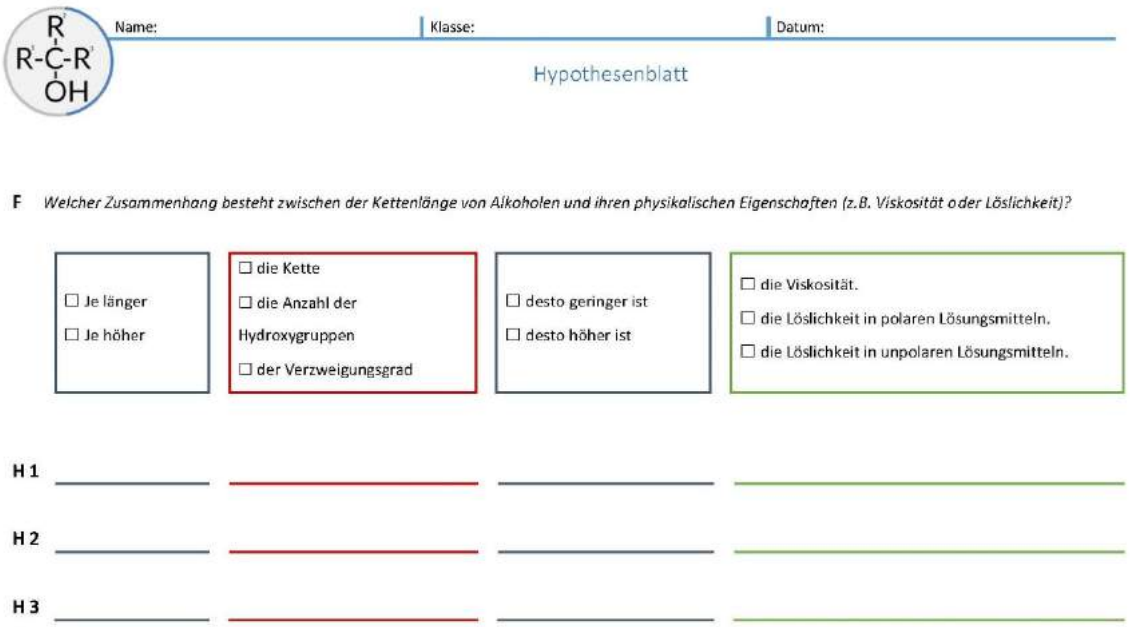


Abbildung 4-6: Hypothesenblatt zum eher vorskizzierten Beispiel

Diese Hilfestellung kann Schülerinnen und Schülern die Formulierung einer adäquaten Hypothese erleichtern. Sie lässt gleichzeitig Entscheidungsspielräume hinsichtlich der tatsächlich aufgestellten Hypothese, welche für die Untersuchung herangezogen wird, zu. Die Planung des Experiments lag auch bei diesem Beispiel größtenteils in der Verantwortung der Lernenden. Hier gab es im Gegensatz zum eher offenen Beispiel einen Tipp, der den Vergleich mindestens dreier Alkanole vorgibt und auf die Variablenkontrolle bei der Planung hinwies. Wie genau vorgegangen werden soll und ob ein qualitativer oder quantitativer Ansatz gewählt wird, war auch in dieser Variante nicht vorgegeben. Die Dokumentation der Untersuchungsergebnisse wurde vorskizziert, in dem den Schülerinnen und Schülern eine Tabelle vorgegebenen wurde. Damit gibt es Vorgaben hinsichtlich des Auswertungsverfahrens. Insgesamt wurden somit sowohl strategische als auch methodische Entscheidungsspielräume eingeplant, welche aber durch einige Vorgaben etwas eingeschränkt wurden. Die Phase der Auswertung und Schlussfolgerung wurde ähnlich gestaltet wie in den beiden anderen Beispielen. Ebenso wurden die zu durchlaufenden Experimentierphasen durch das Arbeitsblatt vorgegeben. Aufgrund der selbstgesteuerten Phasen wurden auch für dieses Beispiel optionale Unterstützungsmaßnahmen für die Planung, Durchführung und Auswertung des Experiments erstellt, welche aus metakognitiven und kognitiven Hilfen zusammengesetzt sind. Die kognitiven Hilfen bestanden jeweils aus einer Frage bzw. Anregung und einer nachgelagerten Antwort bzw. Erklärung und folgten damit, genau wie die metakognitiven Hilfen, dem Prinzip der gestuften Lernhilfen (Hänze et al., 2007; Hänze et al., 2010).

Neben der Verwendung im Themengebiet „Offenheit“ wurde dieses Beispiel im weiteren Verlauf herangezogen, um die Handhabung der Planungshilfe zu erläutern und diente darüber hinaus als zugrundeliegendes Beispiel für das für die Hauptstudie erstellte

Musterprotokoll. Dieses Musterprotokoll hatte gemeinsam mit der Protokollvorlage den Zweck die Studierenden bei der Anfertigung ihrer Protokolle zu unterstützen. Sowohl bei der Erstellung der Arbeitsmaterialien als auch bei der Formulierung der Beschreibungen und Begründungen im Protokoll wurde auf die Einhaltung der im Seminar vermittelten Qualitätskriterien geachtet.

4.1.4 Praxisphase

Die Praxisphase bestand aus insgesamt drei identisch aufgebauten Zyklen. Zur besseren Unterscheidung der insgesamt neun einzelnen Seminartermine, die der Praxisphase zugeordnet sind, wurden die Begriffe „Experimentierphase", „Anwendungsphase" und „Reflexionsphase" eingeführt. Ein Zyklus verlief jeweils in eben dieser Reihenfolge. In jedem Zyklus sollten die Studierenden selbstständig je zwei unterschiedliche Entwürfe entwickeln und die dazugehörigen Protokolle erstellen. In diesem Rahmen wendeten die Studierenden u. a. die in der Theoriephase vermittelten Inhalte an und sammelten Erfahrungen mit der Planung von selbstgesteuerten Experimentierprozessen. In der Anwendungsphase erhielten die Studierenden von ihren Kommiliton*innen Rückmeldung über ihre geplanten Entwürfe, welche sie in der Reflexionsphase analysierten. Auf Grundlage des Feedbacks und ihrer eigenen Erfahrungen reflektierten sie ihre eigenen Entwürfe und entwickelten mögliche Handlungsalternativen. Dieser zyklische Ablauf aus Planung, Anwendung und Reflexion ähnelt in seiner Grundidee einer Learning Study (Nilsson, 2014, 2015) und konnte bereits in anderen Seminarkonzepten erfolgreich eingesetzt werden (Anthofer, 2017; Kobl, 2021). Auch im Rahmen des Refined Consensus Model of PCK wird Unterrichten als Prozess aus Planung, Durchführung und Reflexion betrachtet (vgl. Kapitel 2.1.2). Die persönliche Vorführung der geplanten Entwürfe wurde im vorliegenden Seminarkonzept bewusst ausgeklammert und fand in Form der Bearbeitung der erstellten Materialien durch die Kommiliton*innen statt. Das schriftliche kategoriengeleitete Feedback stellte die Grundlage für die Reflexion der geplanten Experimentierprozesse dar. Damit das Feedback sein lernförderliches Potential entfalten kann, ist es wichtig, sich damit aktiv auseinanderzusetzen und es mit Vorwissen zu verknüpfen (Nicol, Thomson & Breslin, 2014). Im vorliegenden Seminarkonzept fand diese Auseinandersetzung in der Reflexionsphase statt. Diese „reflection on action" sollte die Transformation des enacted PCK in das persönliche fachdidaktische Wissen (pPCK) unterstützen (vgl. Alonzo et al., 2019) und so das Lernen fachdidaktischer Inhalte begünstigen. Im Folgenden werden der Ablauf und der Zweck dieser drei Phasen vorgestellt.

Experimentierphase

Die Experimentierphase diente vor allem dem Kennenlernen und Ausprobieren ausgewählter Experimentieranleitungen, die zur Planung der selbstgesteuerten Experimentierprozesse herangezogen werden sollten. Für diese einzelnen Experimente erstellten die Studierenden Gefährdungsbeurteilungen und führten die Experimente selbstständig, entsprechend der recherchierten Experimentieranleitungen, durch. Dies diente einerseits

dem Üben laborpraktischer Fähigkeiten. Andererseits müssen die Experimente und damit verbundene spezifische Schwierigkeiten bekannt sein, bevor diese zur Planung eines selbstgesteuerten Experimentierprozesses herangezogen werden konnten. Die Zeit vor und während dieser Phase diente außerdem der Entwickelung von Ideen, wie die ausgewählten Experimente durch Kombination verschiedener Experimentieranleitungen oder Variation einzelner Experimentieranleitungen geöffnet werden können. Die in der Experimentierphase gewonnenen Erkenntnisse sollten in die konkrete Ausarbeitung von Arbeitsmaterialien einfließen. Diese Arbeitsmaterialien wurden jeweils vor der Anwendungsphase im Rahmen eines pseudonymisierten vorläufigen Protokolls, welches zusätzlich didaktisch-methodische Beschreibungen und Begründungen enthielt, abgegeben.

Anwendungsphase

In der Anwendungsphase wurden die erstellten Arbeitsmaterialien der beiden Entwürfe für die Kommiliton*innen in Form von zwei Experimentierstationen bereitgestellt. Zur Vorbereitung der Materialien und Chemikalien wurden ca. 30 min anberaumt. Anschließend wurden die Plätze getauscht und der Experimentierprozess je zweier anderer Studierenden getestet. Die Seminarteilnehmer*innen schlüpften dabei einerseits in die Rolle der Schülerinnen und Schüler, welche die jeweilige Experimentieraufgabe bearbeiten, und andererseits in die der Peer-Reviewer, welche die Entwürfe mittels bereitgestellten Feedbackbogens einordnen und bewerten. Im Bereich Schreibkompetenz gilt diese Form des Feedbacks als etablierte und lernförderliche Strategie (Baker, 2016, S. 179). Das Rotationsprinzip wurde dabei so gewählt, dass jeder Entwurf genau einmal durchgeführt wurde. Der Vorteil dieses Rotationsprinzips besteht darin, dass alle Teilnehmer*innen gleich viele Rückmeldungen bekommen, was die Vergleichbarkeit untereinander erhöht. Außerdem ist die Verteilung unabhängig von der Anzahl der Seminarteilnehmer*innen, da in jeder Anwendungsphase die Anzahl der erstellten Entwürfe mit der Anzahl der getesteten Entwürfe übereinstimmte. Zwar legen Studien nahe, dass sich eine höhere Anzahl an Rückmeldungen günstiger auf den Lernerfolg auswirkt (K. Cho & MacArthur, 2010), jedoch würde das die zur Verfügung stehende Seminarzeit sprengen. Um diesem Missstand zu begegnen wurde in der Hauptstudie zusätzlich eine feste, zufallsgenerierte Verteilung eingeführt. Diese sorgte dafür, dass die verschiedenen Entwürfe einer Person im Laufe des Seminars von möglichst vielen unterschiedlichen Feedbackgeber*innen erprobt wurden. Damit konnten übergeordnete Qualitätskriterien aller sechs Entwürfe insgesamt von mehreren verschiedenen Peer-Reviewern evaluiert werden. Zur Vermeidung eines Versuchsleiter-Erwartungseffekts, wurden Rückmeldungen durch die Dozenten auf ein absolutes Minimum reduziert. Ein Einschreiten der Seminarleiter fand nur bei sicherheitsrelevanten Aspekten und in Form von Unterstützung der Studierenden beim händischen Experimentieren statt. Die Anwendungsphase und die ausgefüllten Feedbackbögen dienten demnach als einzige Möglichkeit, Rückmeldungen über die erstellten Experimentierprozesse zu erhalten.

Reflexionsphase

Ausgehend von den in der Anwendungsphase ausgefüllten Feedbackbögen sollten die Studierenden in der Reflexionsphase ihre eigenen Entwürfe reflektieren und gegebenenfalls überarbeiten. Dabei arbeiteten alle Studierenden selbstständig an ihren schriftlichen Reflexionen, welche in einem eigenen Unterkapitel im jeweiligen Protokoll verfasst wurden. Die Studierenden erhielten dabei keine genaueren Instruktionen zur Formulierung von Selbstreflexionen, weder über die Reflexionstiefe noch über die Reflexionsbreite. Die Breite der Reflexion wurde aber im Wesentlichen durch die Struktur und den Inhalt des jeweiligen Feedbackbogens vorgegeben.

Während in der Pilotstudie in jeder Reflexionsphase beide Entwürfe reflektiert und überarbeitet wurden, wurde die Reflexionsphase in der Hauptstudie auf die Reflexion jeweils eines Entwurfs reduziert. Den jeweils anderen Entwurf reflektierten und optimierten die Studierenden außerhalb der Seminarzeit bis zum Semesterende. Damit einhergehend wurde die Reflexionsphase von 135 Minuten auf 90 Minuten gekürzt. Diese Änderung geschah einerseits aufgrund des kürzeren Sommersemesters, welches die Organisation eines zusätzlichen Termins für die Post-Testung erforderlich machte. Andererseits zeigte die Pilotstudie, dass die Reflexion und Überarbeitung beider Entwürfe innerhalb eines Seminartermins zeitliche Probleme auf Kosten der Qualität der Reflexionen und Überarbeitungen zur Folge hatte.

4.1.5 Feedbackbogen

Der in der Anwendungs- und Reflexionsphase genutzte Feedbackbogen (siehe Kapitel 10.5) enthielt Kriterien zu den intendierten Zielen, zur Offenheit und zu den verwendeten Unterstützungsmaßnahmen der begutachteten Experimentierprozesse. Darüber hinaus waren darin Kriterien zur Einschätzung der Qualität des Experimentierprozesses und seiner medialen Gestaltung enthalten. Während der Feedbackbogen in der Pilotstudie kaum offene Anmerkungen zuließ, wurde in der Hauptstudie elaborierteres Feedback zugelassen. Um dies zu ermöglichen, wurden bei jedem Aspekt Zeilen für offene Anmerkungen sowie abschließend eine zusätzliche Seite für weitere offene Anmerkungen hinzugefügt.

Mit dieser Struktur verfolgte der Feedbackbogen grundsätzlich zwei Ziele: Den Studierenden sollte Rückmeldung gegeben werden, wie gelungen der Entwurf aus Sicht der Kommilitonin / des Kommilitonen war. Andererseits sollten die Feedbackgeber*innen die theoretisch vermittelten Inhalte durch wiederholte Anwendung der kennenglernten Konzepte vertiefen. Nicht nur das Erhalten von Feedback, sondern auch das Geben von Feedback kann dabei lernförderliches Potential besitzen (Y. H. Cho & Cho, 2011). Durch Identifikation und Erklären von Stärken und Schwächen fremder Entwürfe können die Peer-Reviewer*innen Wissen über Qualitätskriterien generieren, erarbeiten und verbessern (Althauser & Darnall, 2001; Y. H. Cho & Cho, 2011). Die vorgegebenen Kriterien sollten den Feedbackgeber*innen als inhaltliche Orientierung dienen und somit die Studierenden beim Verfassen des Feedbacks unterstützen. Die Anwendung der Kriterien

auf die Entwürfe anderer kann die Anwendung auf die eigenen Entwürfe fördern (Althauser & Darnall, 2001), wodurch der Lerneffekt durch das Peer-Feedback verstärkt werden kann (Y. H. Cho & Cho, 2011). Im Folgenden werden die einzelnen Bestandteile des Feedbackbogens vorgestellt:

Kompetenzbereiche und Lernziele

In diesem Einordnungsraster sollten die Studierenden die Bedeutung der vier Kompetenzbereiche der Bildungsstandards für das Fach Chemie für den vorliegenden Experimentierprozess auf einer fünfstufigen Likert-Skala einschätzen. Außerdem sollte hier das wahrgenommene intendierte Hauptlernziel formuliert werden. Beide Rückmeldungen können den Autor / die Autorin des Entwurfs informieren, ob die von ihnen angestrebten Kompetenzbereiche und Lernziele wahrgenommen wurden. So erhielten die Studierenden indirekt Rückmeldung über die Zielklarheit ihrer geplanten Experimentierumgebung.

Offenheit

Das Einordnungsraster zur Offenheit bestand aus drei Teilen. Der erste Teil basierte auf den Offenheitsdimensionen Fachinhalt, Phasen, Strategie und Methode von Priemer (2011) und enthielt alle gängigen Experimentierphasen sowie einige strategische und methodische Aspekte. Dieses Einordnungsraster diente der Einschätzung der Graduierung der Offenheit hinsichtlich der erwähnten Dimensionen und ließ sich mit der zusätzlichen Option „keine Aussage möglich“ flexibel an die Gegebenheiten unterschiedlicher Experimentierprozesse anpassen. Im zweiten Teil galt es einzuordnen, welche Experimentierphasen im Fokus des Experimentierprozesses stehen. Abschließend sollten die wahrgenommene Anzahl der Lösungen und Lösungswege angegeben werden. Der erste Teil des Einordnungsrasters zur Offenheit wurde in der Hauptstudie bereits in der Theoriephase eingeführt und zur Analyse der erstellten Beispiele herangezogen.

Unterstützungsmaßnahmen

Im Raster zur Einordnung der optionalen Unterstützungsmaßnahmen wurde das Vorhandensein von Strukturierungshilfen und Hilfekarten abgefragt. Waren Hilfekarten vorhanden, so sollten diese darüber hinaus hinsichtlich ihrer Unterstützungsebenen eingeordnet werden. Das heißt, die Feedbackgeber*innen gaben an, ob kognitive Hilfen (Aktivieren von Vorwissen und Informationsinput), metakognitive Hilfen (Elaboration, Paraphrasierung, Visualisierung, Verifizierung, Fokussierung auf den Anfangszustand) oder methodische Hilfen vorliegen. Anschließend analysierten die Feedbackgeber*innen die Unterstützungsmaßnahmen hinsichtlich eines gestuften Aufbaus und ob weitere Möglichkeiten zur Binnendifferenzierung eingeplant wurden.

Die Feedbackgeber*innen waren in der Pilotstudie dazu aufgefordert, die Art der Hilfe schriftlich zu ergänzen. Nach Analyse der Feedbackbögen wurde dies jedoch für die Hauptstudie verändert. Da die Studierenden Schwierigkeiten hatten, die besprochenen Begriffe zu reproduzieren, wurden diese dahingehend vereinfacht, als dass mögliche kognitive und metakognitive Hilfen namentlich vorgegeben wurden.

Mediale Gestaltung

Das Feedbackraster zur medialen Gestaltung bestand aus acht Items, welche mit einer fünfstufigen Likert-Skala eingeordnet werden sollten. Die Feedbackgeber*innen bewerteten den Experimentierprozess und die dazugehörigen Arbeitsmaterialien hinsichtlich der Gestaltung, der Eignung der Aufgabenschwierigkeit für die Jahrgangsstufe, der Eignung für die Bearbeitung der Experimentieraufgabe sowie einer angemessenen Einbettung in lebensweltliche oder fachimmanente Kontexte. Dieses Raster wurde für die Hauptstudie insofern geöffnet, als dass für jedes Item eine Zeile hinzugefügt wurde, in der stichpunktartige Erklärungen für die getroffenen Einschätzungen zu ergänzen waren.

Weitere Aspekte

Die sechs Items dieser Skala thematisierten Aspekte zur Zielklarheit der Experimentierumgebung, zur zeitlichen Angemessenheit, zur eingeschätzten Lernförderlichkeit, zur Eignung der Experimentieraufgabe für die angegebene Jahrgangsstufe, zur Angemessenheit des Öffnungsgrades und zur Eignung der eingeplanten Unterstützungsmaßnahmen. Diese Aspekte wurden ebenfalls mit einer fünfstufigen Likert-Skala eingeordnet. Auch hier wurde ab der Hauptstudie zusätzlicher Platz für Anmerkungen eingeführt, um durch stichpunktartige Erläuterungen der Einschätzungen elaborierteres Feedback zu ermöglichen.

4.2 Untersuchungsdesign und Stichprobe

Untersuchungsdesign

Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich um eine Interventionsstudie zur Überprüfung der Wirksamkeit des beschriebenen chemiedidaktischen Seminarkonzepts im Pre-Post-Test-Design. Um Hinweise über die Langfristigkeit der Lerneffekte zu erhalten, wurde in der Hauptstudie ab dem Wintersemester 2019/20 zusätzlich ca. 6 Monate nach Abschluss des Seminars eine dritte Erhebung durchgeführt. Damit wurde das Untersuchungsdesign für diese Teilstichprobe zu einem Pre-Post-Follow-Up-Design erweitert. Sowohl die Pre- als auch die Post-Testungen fanden jeweils während der Seminarzeit statt und wurden in der Pilotstudie durchgehend mittels Paper-Pencil-Tests durchgeführt. Der Post-Test in der Hauptstudie wurde ebenfalls während der Seminarzeit, jedoch teilweise als digitale Version via „SoSci Survey“ bearbeitet. In den beiden Teilstudien (Pilotierung und Hauptstudie) war die Seminarleitung während der Pre- und Post-Testungen anwesend. Die Follow-Up-Testung wurde in der Hauptstudie aufgrund der Corona Pandemie vollständig als online-Version und nicht im Seminar durchgeführt.

Stichprobenplanung und Stichprobe

Mithilfe der „pwr.t.test“ Funktion aus dem Paket „pwr“ (Champely, 2020) wurde mit dem Programm „R“ vorab der notwendige Stichprobenumfang berechnet. Da einige Elemente

des vorliegenden Seminars Ähnlichkeiten zu den Seminaren von Anthofer (2017) sowie Kobl (2021) aufweisen und im Rahmen dieser Arbeiten teilweise hohe Effektstärken erzielt wurden, wurde für die Stichprobenplanung eine hohe Effektstärke von $d = .8$ angenommen. Die Berechnung ergab eine notwendige Stichprobe von 19 Personen (vgl. Abbildung 10-1 und Abbildung 10-2 in Kapitel 10.8). Das chemiedidaktische Hauptseminar wurde als Pflichtseminar insgesamt dreimal in jeweils zwei parallelen Kursen durchgeführt. Im Wintersemester 2018/19 fand die Pilotstudie mit insgesamt 17 Teilnehmer*innen statt. Nach Anpassungen und Veränderungen im Seminarkonzept (siehe Tabelle 5-13 in Kapitel 5.7) wurde die Hauptstudie im Sommersemester 2019 mit sieben Personen und im Wintersemester 2019/20 mit 24 Personen durchgeführt. An der Hauptstudie nahmen insgesamt 31 Personen teil, was die berechnete notwendige Stichprobengröße von 19 Personen übersteigt. In Tabelle 4-5 ist eine genaue Auflistung der Stichproben- und Kursgrößen unter Berücksichtigung der Schulform zu finden.

Tabelle 4-5: Übersicht zur Stichprobe

Stichprobe	Anzahl Studierende	Gymnasium	Realschule
Wintersemester 18/19 (Pilotstudie)	17 (Gruppe 1: 12; Gruppe 2: 5)	12	5
Sommersemester 2019 (Hauptstudie)	7 (Gruppe 1: 3; Gruppe 2: 4)	7	0
Wintersemester 19/20 (Hauptstudie)	24 (Gruppe 1: 19; Gruppe 2: 5)	22	2

4.3 Erhebungsinstrumente

Im folgenden Kapitel werden die bereits erwähnten Erhebungsinstrumente im Detail vorgestellt. Tabelle 4-6 enthält dazu einen kurzen Überblick zum Zweck, zum Erhebungszeitpunkt, zur Dauer und zur Herkunft der verwendeten Tests und Skalen. Genauere Informationen zu den einzelnen Tests, Skalen und erhobenen Dokumenten sind in den vier folgenden Unterkapiteln zu finden. Abschließend werden in Kapitel 4.5.1 allgemeine Hintergründe zur Methodik, zur Datenauswertung, zu den verwendeten statistischen Verfahren sowie zu bedeutsamen Gütekriterien thematisiert.

Tabelle 4-6: Übersicht zu den verwendeten Erhebungsinstrumenten

Titel	**Betreffende Forschungsfrage**	**Erhebung**	**Dauer**	**Herkunft**
Persönliche Angaben	-	Pre	5 min	modifiziert nach Anthofer (2017)
Zielorientierungen	FF 5	Pre Post	10 min	Nitsche, Dickhäuser, Fasching

				und Dresel (2011)
Fachspezifische Überzeugungen	FF 5	Pre Post (Pilot)	10 min	Lamprecht (2011)
Experimentell-fachidadakisches Wissen	FF 1 FF 5	Pre Post Follow-Up (H)	20 min	Backes, Sumfleth und Tepner (2012)
Selbstwirksamkeits-erwartungen	FF 2 FF 5	Pre Post	5 min	Rabe et al. (2012)
Test zur experimentellen Planungskompetenz	FF 3 FF 5	Pre Post Follow-Up (H)	60 min	selbst entwickelt
Protokolle	FF 4	Während des Seminars	-	Protokollvorlage selbst erstellt

4.3.1 Kontrollvariablen

Wie in Kapitel 2.1.2 erläutert, stellen professionelle Überzeugungen von Lehrkräften neben der Fachkompetenz, der didaktischen Kompetenz und der pädagogischen Kompetenz bedeutsame Einflussfaktoren für die Planungskompetenz dar. Auch Zielorientierungen können als Teil der motivationalen Orientierungen einer Lehrkraft einen Einfluss auf die Anwendung fachdidaktischen Wissens in Planungssituationen haben. Aus diesem Grund wurden mit Hilfe eines Fragebogens die Zielorientierungen und fachspezifische Überzeugungen der Studierenden als Kontrollvariablen erhoben. Darüber hinaus wurden persönliche Angaben wie das Alter, das Geschlecht, der Abiturschnitt, die durchgehend belegten Oberstufenfächer, die Anzahl an gehaltenen Unterrichtsstunden, die Fächerkombination, das aktuelles Fachsemester, die Belegung anderer chemiedidaktischer Seminare sowie die subjektive Benotung der fachlichen, fachdidaktischen und pädagogisch/psychologischen Ausbildung an der Universität Regensburg erfasst.

Zielorientierungen

Für die Erhebung der selbstbezogenen Zielorientierungen sollten die Studierenden auf einer fünfstufigen Likert-Skala von „sehr zutreffend“ (= 1) bis „sehr unzutreffend“ (= 5) einschätzen, inwiefern Aussagen wie „In meinem Studium strebe ich danach, meine fachdidaktischen Kompetenzen zu verbessern“ auf sie persönlich zutreffen. Die verwendete Skala zu den Zielorientierungen der Studierenden bestand aus insgesamt 16 Items und stammte ursprünglich aus dem Instrument von Nitsche et al. (2011). In ihrem Modell unterscheiden die Autor*innen zwischen den Zieldimensionen „learning goal orientation“, „performance approach goal orientation“, „work avoidance goal orientation“ sowie „performance avoidance goal orientation“. Die in dieser Arbeit verwendeten Items wurden von Anthofer (2017) ins Deutsche übersetzt und stammten sinngemäß aus drei dieser vier Zieldimensionen. Konkreter ließen sich die Items 7, 11, 12 sowie 14 bis 16 im Modell

der „performance avoidance goal orientation“ zuordnen. Die Items 10 und 13 stammten inhaltlich aus der Dimension „performance approach goal orientation“, während die Items 1 bis 6 sowie 8 und 9 der Dimension „learning goal orientation“ zuzuordnen waren. Im Sinne der vorliegenden Seminarkonzeption und der Analysen von Nitsche et al. (2011) wurden die Items 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15 und 16 für die vorliegenden Auswertungen umkodiert.

In meinem Studium strebe ich danach …	sehr zu-treffend	zu-treffend	mittel	unzu-treffend	sehr unzu-treffend
1. … neue Ideen zur Vermittlung von Wissen in meinem Fach zu bekommen.	☐	☐	☐	☐	☐
2. … komplizierte Vorlesungen besser zu verstehen.	☐	☐	☐	☐	☐
3. … meine pädagogischen Kompetenzen zu verbessern.	☐	☐	☐	☐	☐
4. … meine fachlichen Kompetenzen zu verbessern.	☐	☐	☐	☐	☐

Abbildung 4-7: Auszug aus der Skala zu den Zielorientierungen

Fachspezifische Überzeugungen

Zur Erhebung der Fachspezifischen Überzeugungen der Studierenden wurde im Fragebogen eine Skala mit insgesamt 39 Items verwendet. Dazu gaben die Studierenden auf einer fünfstufigen Likert-Skala an, inwiefern sie bestimmten Aussagen zur „Chemie als Wissenschaft“ (10 Items), zum „Lehren von Chemie in der Schule“ (21 Items) und zum „Lernen von Chemie in der Schule“ (8 Items) zustimmen (siehe Abbildung 4-8). Die verwendeten Items stammten aus dem Instrument von Lamprecht (2011), in welchem u. a. Vergleichsuntersuchungen zwischen Quereinsteiger*innen und Lehramtsabsolvent*innen hinsichtlich bestimmter „Komponenten der professionellen Handlungskompetenz“ (Lamprecht, 2011, S. 4) in der Physikdidaktik angestellt wurden. Für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Auswertungen wurden die Items 2, 4, 6, 7, 9, 10, 13, 14, 15, 21, 29, 30, 31, 32, 33, 34 und 37 aus inhaltlichen Gründen und aufgrund der Faktorenanalyse von Lamprecht (2011) umkodiert.

Chemie als Wissenschaft	sehr zu-treffend	zu-treffend	mittel	unzu-treffend	sehr unzu-treffend
1. Die Auseinandersetzung mit der Chemie prägt mein Leben in positiver Weise.	☐	☐	☐	☐	☐
2. Das Schöne an der Chemie ist, dass ihre Ergebnisse eindeutig sind.	☐	☐	☐	☐	☐
3. Die chemische Forschung sollte in Deutschland gefördert werden, weil sie zu guten Teilen am Wohlstand unseres Landes beteiligt ist.	☐	☐	☐	☐	☐
4. Chemische Gesetze verkörpern die ewige Wahrheit.	☐	☐	☐	☐	☐

Abbildung 4-8: Auszug aus der Skala zu den Fachspezifischen Überzeugungen

4.3.2 Experimentell-fachdidaktisches Wissen

Zur Beantwortung der Forschungsfrage 1 wurde ein bereits existierender Test zum experimentell-fachdidaktischen Wissen eingesetzt. Damit sollte das persönliche fachdidaktische Wissen (pPCK) der Proband*innen erhoben werden. Der verwendete Test wurde von Backes et al. (2012) entwickelt und bestand aus insgesamt 19 verschiedenen Aufgaben. Mit 17 von 19 Aufgaben begann der Großteil der Aufgaben mit einer kurzen Einführung in eine hypothetische Unterrichtssituation (Unterrichtsvignette). In diesen sollten die Proband*innen in der Rolle einer Seminarlehrkraft Handlungsempfehlungen für eine Referendarin / einen Referendar hinsichtlich ihrer Eignung für die spezifische beschriebene Situation mit Schulnoten bewerten (vgl. Abbildung 4-9).
Im Rahmen der Entwicklung dieses Testinstruments wurden Expert*innenratings durchgeführt, welche die Grundlage für die weiteren Auswertungen bildeten. Dazu wurden die vier Handlungsempfehlungen pro Aufgabe (Items) in eine dem Expert*innenrating entsprechenden Reihenfolge gebracht (relative Werte). Die Werte der einzelnen Items wurden paarweise verglichen, wodurch pro Aufgabe sechs verschiedene Paarvergleiche (Relationen) existierten. Zur Auswertung wurden allerdings nur solche Relationen herangezogen, welche im Expertenrating eine Übereinstimmung von mindestens 66 % erreichten. Somit ergaben sich für diese 17 Aufgaben insgesamt 67 mögliche Paarvergleiche. Entsprach ein Paarvergleich der Einschätzung der Expert*innen, so wurde ein Punkt vergeben. Die beiden übrigen Aufgaben (Aufgabe 6 und Aufgabe 19) thematisierten Phasen bei hypothesentestenden Experimenten. Hier gab es eine eindeutige vom Expert*innenrating unabhängige Lösung. In Aufgabe 6 wurden bei richtiger Angabe der Reihenfolge der Phasen zwei Punkte vergeben. Bei Aufgabe 19 gab es pro richtig gesetztem Kreuz 0,25 Punkte.

1. Aufgabe

Ihre Referendarin möchte im Chemieanfangsunterricht offen (ohne konkrete Versuchsanleitung) zu einer gegebenen Fragestellung experimentieren lassen, ist sich jedoch unsicher, über welche Fähigkeiten die SuS notwendigerweise verfügen sollten.

Bitte bewerten Sie die folgenden Schülervoraussetzungen auf ihre Relevanz für die Umsetzung dieses Vorhabens. Geben Sie dazu bitte Noten von 1 („sehr gut/zutreffend") bis 6 („ungenügend/unzutreffend"):

	1	2	3	4	5	6
Die SuS sollten eine Idee experimentell umsetzen können.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Die SuS sollten die Inhalte, die mit dem Experiment erschlossen werden können, bereits gelernt haben.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Die SuS sollten chemische Phänomene mit Modellvorstellungen erklären können.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Die SuS sollten aus Versuchsergebnissen eine Schlussfolgerung ableiten können.	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Abbildung 4-9: Aufgabenbeispiel aus dem Test zum experimentell-fachdidaktischen Wissen

4.3.3 Selbstwirksamkeitserwartungen

Die Veränderung hinsichtlich der domänenspezifischen Selbstwirksamkeitserwartung der Studierenden (Forschungsfrage 2) sollte Aufschluss über die selbsteingeschätzte Lernwirksamkeit des Seminarkonzepts geben. Die Studierenden gaben auf einer fünfstufigen Likert-Skala von „sehr zutreffend" bis „sehr unzutreffend" an, inwiefern sie sich in der Lage fühlen, die in den Items formulierten Aufgaben zu bewältigen. Die dazu verwendete Skala umfasste insgesamt 22 Items und stammte von Rabe et al. (2012). Die ursprünglich für physikdidaktische Handlungsfelder entwickelten Items wurden von Anthofer (2017) für die Chemiedidaktik adaptiert. Der Fragebogen erhob die Selbstwirksamkeitserwartung in den vier Subskalen „Planung von Experimenten" (5 Items), „Durchführung von Experimenten" (4 Items), „Didaktische Rekonstruktion unterrichtsrelevanter Inhalte" (8 Items) und „Umsetzung der Didaktischen Rekonstruktion im Unterricht" (5 Items). Nach der Pilotstudie wurde die Subskala „Planung von Experimenten" um zwei Items und die Subskala „Durchführung von Experimenten" um ein Item erweitert, um das Instrument besser an das entwickelte Seminarkonzept anzupassen.

1. Selbstwirksamkeitserwartungen bezüglich der **Planung von Experimenten**

	sehr zu-treffend	zu-treffend	mittel	unzu-treffend	sehr unzu-treffend
Es bereitet mir keine Probleme, zu einem Thema passende Experimente vorzubereiten.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich bin stets in der Lage, für eine Unterrichtssequenz ein motivierendes Einstiegsexperiment zu planen, auch wenn ich die Sequenz das erste Mal unterrichte.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich kann jedes Experiment auch für andere Phasen des Unterrichts einplanen, obwohl ich es bisher nur zur Erarbeitung verwendet habe.	☐	☐	☐	☐	☐
Es gelingt mir immer, zu einem Thema Schülerexperimente leistungsdifferenziert vorzubereiten, auch wenn es in der Literatur keine Vorschläge gibt.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich kann bei jedem Experiment begründet entscheiden, ob ich es als Schüler- oder Demonstrationsexperiment plane, auch wenn ich noch keine Erfahrung mit dem Experiment habe.	☐	☐	☐	☐	☐

Abbildung 4-10:Auszug der Skala zur Selbstwirksamkeitserwartung bezüglich der Planung von Experimenten

4.3.4 Test zur experimentellen Planungskompetenz

Der Test zur experimentellen Planungskompetenz wurde im Rahmen des vorliegenden Promotionsprojekts in Anlehnung an Schröder, Vogelsang und Riese (2017) entwickelt. Dabei handelte es sich um einen standardisierten Test, in welchem die Studierenden die Aufgabe hatten, eine konkrete schriftliche Planung zu einem (selbstgesteuerten) Experimentierprozess zu erstellen. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, da das tatsächliche Planungshandeln (Performanz) und nicht das deklarative Wissen über Planungen im Mittelpunkt des Forschungsinteresses stand. Auf diese Weise sollte das prozedurale fachdidaktische Wissen erhoben werden, welches in einer spezifischen Planungssituation angewendet wird ($ePCK_P$). Vorausgehende Studien legen nahe, dass eine valide Erfassung der Planungskompetenz über die Analyse schriftlicher Planungen prinzipiell möglich ist (Hasenkamp, Windt & Rumann, 2015; König et al., 2015; Schröder et al., 2020; Weingarten, 2019). Die Qualität der erhobenen schriftlichen Planungen der Studierenden sollte mit Hilfe eines dafür entwickelten Kodiermanuals untersucht werden (siehe Kapitel 4.4).

Als Grundlage für die Bearbeitung des Tests wurden den Studierenden die Versuchsdurchführung, die Beobachtung und die Erklärung einer nach spezifischen Kriterien ausgewählten Experimentieranleitung zur Verfügung gestellt (siehe Anhang). Die Studierenden erhielten den Arbeitsauftrag, innerhalb von maximal 60 Minuten einen offenen schülerzentrierten (selbstgesteuerten) Experimentierprozess zu planen. Zum Zwecke der Standardisierung und besseren Vergleichbarkeit wurden folgende Aspekte vorgegeben, auf die sich die Studierenden in ihren schriftlichen Planungen beziehen sollten:

- Zentrale fachliche Aspekte
- Lerngruppenanalyse (z. B. Vorwissen, experimentelle Fähigkeiten, lebensweltliche Einbettung, Schülervorstellungen)
- Formulierung von Lernzielen / Kompetenzen und Funktionen des Experiments
- Eine nachvollziehbare Beschreibung des Schülerexperiments

  - Benötigte Chemikalien / Arbeitsmaterialien und Geräte
  - Ablauf bei Bearbeitung durch Schülerinnen und Schüler
  - Offenheit vs. Unterstützung des Experimentierprozesses
  - Sozialform
- Grobes Skizzieren eines Arbeitsblattes mit Arbeitsaufträgen

Dabei sollten die Studierenden von einer heterogenen Klasse, einer optimalen Ausstattung der Chemiesammlung und von einem zeitlichen Umfang von einer Experimentierstunde ausgehen. In Bayern ist es üblich, vorwiegend in geteilten Klassen während gesonderter Übungsstunden zu experimentieren, sodass von maximal 16 Schülerinnen und Schüler ausgegangen werden sollte.

Fachliche Hintergründe zum verwendeten Experiment

Als zugrundliegendes Experiment für den Planungskompetenztest wurde eine Experimentieranleitung mit dem Titel „Unedle Metalle und verdünnte saure Lösungen“ aus der Handreichung „Chemie? Aber sicher!“ (Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung Dillingen, 2013) gewählt und überarbeitet. Mit Hilfe dieser Anleitung kann die Reaktion der Metalle Magnesium und Zink in verschiedenen verdünnten sauren Lösungen untersucht werden. Dabei lässt sich beobachten, dass Magnesium unabhängig von der gewählten sauren Lösung unter stärkerer Bläschenbildung reagiert als das Zink (Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung Dillingen, 2013).
Unedle Metalle reagieren in einer Redoxreaktion mit den in den Lösungen vorhandenen Oxoniumionen (Riedel & Meyer, 2018). Dabei entstehen die entsprechenden Metallkationen, Wasser sowie Wasserstoff. Der entstehende Wasserstoff entweicht, wodurch sich eine Bläschenbildung beobachten lässt. Die Stärke der Bläschenbildung dient dann als Indikator für die Heftigkeit der Reaktion. Die entsprechende Reduktions-Oxidations-Reaktion am Beispiel des Zinks lautet wie folgt:

$$\textit{Oxidation:} \quad \overset{0}{Zn\,(s)} \rightarrow \overset{+\,II}{Zn^{2+}\,(aq)} + 2\,e^-$$

$$\textit{Reduktion:} \quad 2\ \overset{+\,I}{H_3O^+\,(aq)} + 2\,e^- \rightarrow \overset{0}{H_2\,(g)} + 2\,H_2O\,(l)$$

$$\textit{Redox:} \quad Zn\,(s) + 2\ H_3O^+\,(aq) \rightarrow Zn^{2+}\,(aq) + H_2\,(g) + 2\,H_2O\,(l)$$

Die Oxidationszahl des Zinks erhöht sich demnach von 0 auf +II, während sich die Oxidationszahl des Wasserstoffs von +I auf 0 verringert.

Der Verlauf der Reaktion ist bei Raumtemperatur und gleichem Zerteilungsgrad bzw. gleicher Oberfläche abhängig vom Standardpotential des verwendeten Metalls sowie der Konzentration der Oxoniumionen. Letzteres lässt sich mit Hilfe der Theorie von

Le Chatelier („Prinzip vom kleinsten Zwang“) und der Erhöhung der Edukt-Konzentration erklären. Erhöht sich die Konzentration der Edukte oder eines Edukts, so kann sich das chemische Gleichgewicht auf die Seite der Produkte verschieben. Da der pH-Wert der angegebenen sauren Lösungen in etwa gleich ist, lässt sich kein Unterschied zwischen den hier verwendeten verdünnten sauren Lösungen feststellen. Die Beobachtungen bezüglich der unterschiedlich starken Bläschenbildung lässt sich bei diesem Versuchsaufbau demnach nur über die unterschiedlichen Standardpotentiale der beiden Metalle erklären ($E^0_{Mg} = -2{,}36\ V$, $E^0_{Zn} = -0{,}76\ V$) (Binnewies et al., 2016). Da der Betrag der Differenz des Standardpotentials zur Normalwasserstoffelektrode ($E^0_{H_2} = 0$) im Falle des Magnesiums größer ist und sich dieses somit leichter oxidieren lässt, ist beim Magnesium eine heftigere Reaktion zu beobachten als beim Zink.

Auswahlkriterien

Zur Auswahl des Experiments wurden verschiedene Kriterien herangezogen, die im Folgenden kurz vorgestellt werden. Das Thema „Unedle Metalle in verdünnten sauren Lösungen“ lässt sich im bayerischen Lehrplan für Gymnasien und Realschulen einordnen. Da sowohl Gymnasial- als auch Realschullehramtsstudierende am Hauptseminar und damit an der Studie teilnahmen, stellte dies eine wichtige Voraussetzung für die Auswahl des Experiments dar. Darüber hinaus konnten bei diesem Beispiel je nach zugrundeliegender Zielsetzung unterschiedliche thematische Schwerpunkte gesetzt werden. Damit ließ sich das Experiment jeweils an verschiedenen Stellen im Lehrplan verorten. Dies war wichtig, da den Studierenden gewisse Freiheiten bei der Planung, ausgehend von dieser groben thematischen Vorgabe, gegeben werden sollten. Da einerseits das Gefahrenpotential bei diesem Experiment überschaubar ist und sich andererseits die ablaufende Reaktion durch die Bläschenbildung gut beobachten lässt, eignet sich dieses Beispiel sehr gut für den Einsatz als Schülerexperiment, auch in niedrigen Jahrgangsstufen.

Die Aufgabe an die Studierenden, einen offenen schülerzentrierten Experimentierprozess zu entwickeln, wird erleichtert, wenn es sich bei der Vorgabe um eine Experimentieranleitung handelt, welche entsprechende Variationsmöglichkeiten zulässt. Beim vorliegenden Experiment handelte es sich um ein Beispiel, das die Öffnung des Experiments hinsichtlich des Fachinhalts, der Strategie, der Methode und der Phasen zuließ (vgl. Kapitel 2.3.3). Aufgrund unterschiedlicher Möglichkeiten der Schwerpunktsetzung, waren verschiedene fachinhaltliche Herangehensweisen möglich, die als Entscheidungsfreiheiten für die Schülerinnen und Schüler eingeplant werden konnten. Konkret bedeutet das, dass bei leichter Veränderung des Versuchsaufbaus auch andere Aspekte untersucht werden konnten (Vergleich unterschiedlicher Metalle oder saurer Lösungen, Untersuchung der Reaktionsprodukte, Vergleich des Zerteilungsgrades, etc.). Damit im Zusammenhang stehend waren durch Erweiterung der Auswahl der Chemikalien und Labormaterialien unterschiedliche Versuchsanordnungen realisierbar. Je nach Zielsetzung könnten Schülerinnen und Schüler selbstständig eine angemessene Auswahl der benötigten Materialien treffen. Auch könnten bestimmte Nachweisreaktionen zur Untersuchung der

entstehenden Produkte herangezogen und zur Öffnung des Experiments verwendet werden. Damit war auch eine Öffnung hinsichtlich methodischer Aspekte denkbar. Da bei dem vorliegenden Experiment u. a. die Identifikation und Kontrolle von Variablen bedeutsam ist (z. B. Zerteilungsgrad und Standardpotential der untersuchten Metalle oder der pH-Wert der sauren Lösungen), konnten auch strategische Überlegungen zur Offenheit in die Planung einbezogen werden. Die Öffnung des Experimentierprozesses hinsichtlich der genannten Aspekte kann sich dabei auf die verschiedenen Phasen des Experiments beziehen. Insgesamt ergaben sich dadurch vielfältige Möglichkeiten für eine offene Gestaltung des zugrundliegenden Experiments.

Neben diesen Variationsmöglichkeiten bezüglich der Offenheit des Experimentierprozesses, bat das verwendete Thema die Möglichkeit, Präkonzepte, die bei Schülerinnen und Schülern vorliegen können, mit in die Lerngruppenanalyse einzubeziehen. Ein häufig vorkommendes Präkonzept ist beispielsweise das Vernichtungskonzept (Barke, 2006). Die Schülerinnen und Schüler könnten durch ihre Beobachtungen von einem Auflösen und damit Verschwinden des Metalls ausgehen. Zusätzlich könnte bei diesem konkreten Beispiel eine Verwechslung von Säure-Base- und Reduktions-Oxidations-Reaktionen geschehen. Beides galt es bei den schriftlichen Planungen einzubeziehen und Missverständnissen gegebenenfalls durch entsprechende Unterstützungsmaßnahmen entgegenzuwirken.

4.3.5 Protokolle

Wie bereits in Kapitel 4.1 beschrieben, waren das Verfassen und die Abgabe von Protokollen zu den jeweiligen Experimentierprozessen Teil der Studienleistung des Seminars. In diesen Protokollen formulierten die Studierenden Angaben zum zugrundeliegenden Experiment (benötigte Materialien und Chemikalien, Durchführung, Beobachtung), fachliche Hintergründe zum jeweiligen Experiment, didaktisch-methodische Entscheidungen und ggf. Begründungen zum geplanten Experimentierprozess sowie die im Rahmen des jeweiligen Entwurfs erstellten Arbeitsmaterialien. Darüber hinaus enthielten die Protokolle Angaben der Studierenden über die Zeit, die das Erstellen der Entwürfe beansprucht hat. Aufgrund des zyklischen Aufbaus des Seminarkonzeptes wurden auf diese Weise in jedem der drei Zyklen (Messzeitpunkt X, Y und Z) zwei Protokolle pro Person angefertigt und pseudonymisiert eingereicht. Die Abgabe geschah dabei immer vor der jeweiligen Anwendungsphase und während der bzw. im Anschluss an die Reflexionsphase (vgl. Abbildung 4-11) und diente u. a. der Beantwortung der Forschungsfrage 4 („Inwiefern entwickeln sich die geplanten Experimentierprozesse der Studierenden im Verlauf des Seminars?“).

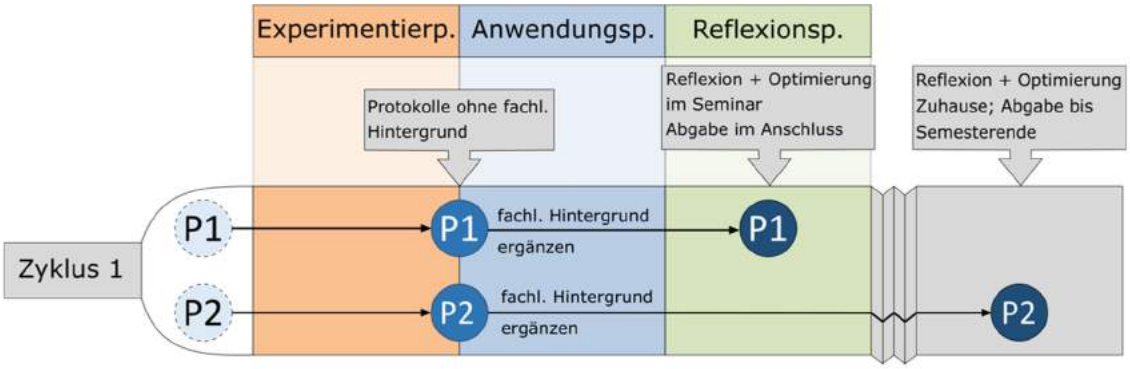


Abbildung 4-11: Erhebung der Protokolle in den Hauptstudien bezogen auf einen Zyklus (P = Protokoll)

Auf diese Weise wurden pro Entwurf zwei Versionen der Protokolle erhoben: eine vorläufige sowie eine finale Version. Bei der vorläufigen Version handelte es sich um Protokolle zu Entwürfen, welche noch nicht von Kommiliton*innen getestet wurden, während Protokolle in der finalen Variante bereits die schriftliche Reflexion auf Basis des Feedbacks der Kommiliton*innen enthielten. Pro Zyklus ergaben sich dadurch zwei zusammengehörige Messzeitpunkte, an denen jeweils zwei Protokolle (P1 & P2) erhoben wurden (vgl. Tabelle 4-7).

Tabelle 4-7: Übersicht zur Abgabe der Protokolle einer Versuchsperson während des Seminars (P = Protokoll)

	Messzeitpunkt					
Variante	**X.1**	**X.2**	**Y.1**	**Y.2**	**Z.1**	**Z.2**
vorläufig	P 1.1	P 2.1	P 3.1	P 4.1	P 5.1	P 6.1
final	P 1.2	P 2.2	P 3.2	P 4.2	P 5.2	P 6.2

In der Hauptstudie wurde pro Seminarteilnehmer*in nur noch je ein Protokoll in der finalen Version während des Seminars erhoben. Die Abgabe der finalen Version des jeweils anderen Protokolls wurde auf die Zeit nach dem Seminar verschoben. Dadurch wurden während des Seminars pro Person sechs Protokolle in der vorläufigen Variante und drei zugehörige Protokolle in der finalen Variante erhoben (vgl. Tabelle 4-8). Für die Auswertungen im Rahmen der Hauptstudie wurden nur solche Protokolle herangezogen, welche sowohl in der vorläufigen als auch in der finalen Version vorlagen (kursiv in Tabelle 4-8). Um die Qualität der in den Protokollen beschriebenen Experimentierprozesse einschätzen zu können, wurden diese mit dem in Kapitel 4.4 beschriebenen Instrument inhaltsanalytisch ausgewertet.

Tabelle 4-8: Übersicht veränderte Abgabe der Protokolle einer Versuchsperson (Beispiel)

Variante	**MZP X**		**MZP Y**		**MZP Z**		**nach dem Seminar**
vorläufig	P 1.1	*P 2.1*	*P 3.1*	P 4.1	*P 5.1*	P 6.1	
final	~~P 1.2~~	*P 2.2*	*P 3.2*	~~P 4.2~~	*P 5.2*	~~P 6.2~~	P 1.2, P4.2, P6.2

4.4 Kodiermanual zur Analyse schriftlicher Planungen bezüglich selbstgesteuerter Experimentierprozesse

Um die Qualität der Planungen der Studierenden vor, während und nach dem Seminar objektiv, reliabel und valide erfassen (Forschungsfrage 5) und miteinander vergleichen zu können (Forschungsfragen 3 und 4) wurden inhaltsanalytische Verfahren zur Datenauswertung herangezogen. Dazu wurden ein Kategoriensystem und ein zugehöriges Kodiermanual entwickelt. Im folgenden Kapitel erfolgt zunächst eine kurze Einführung in die Entwicklung von Kategoriensystemen bzw. Kodiermanualen im Allgemeinen (Kapitel 4.4.1). Anschließend werden der Prozess und das Ergebnis der Entwicklung des vorliegenden Instruments zur Analyse der schriftlichen Planungen im Speziellen thematisiert (Kapitel 4.4.2). In Kapitel 4.4.3 wird die Vorgehensweise bei der Überprüfung der Intercoder-Reliabilität näher erläutert. Abschließend werden in Kapitel 4.4.4 die Ergebnisse dieser Prüfung dargestellt und Konsequenzen daraus beschrieben.

4.4.1 Inhaltsanalyse

Die quantitative Inhaltsanalyse ist eine Methode zur Erfassung formaler inhaltlicher Merkmale von Texten und anderen Quellen (Diaz-Bone & Weischer, 2015). Diese Merkmale werden im Rahmen der Inhaltsanalyse möglichst systematisch und intersubjektiv nachvollziehbar beschrieben (Früh, 2017). Kernstück der Inhaltsanalyse ist dabei das Kategoriensystem bzw. das zugehörige Kodiermanual (Rössler, 2017). Das Kategoriensystem besteht aus der Gesamtheit aller verwendeten formalen und inhaltlichen Kriterien (Kategorien), die zur Analyse des Untersuchungsmaterials herangezogen werden (Rössler, 2017). Durch Formulierung genauer Definitionen und Beschreibungen der Kategorien und Merkmalsausprägungen sowie nachvollziehbarer Kodieranweisungen entsteht aus dem Kategoriensystem das Kodiermanual (Döring & Bortz, 2016). Für jede Kategorie werden all jene Merkmalsausprägungen operationalisiert, welche „für das jeweilige Forschungsproblem relevant sind“ (Döring & Bortz, 2016, S. 553). Die einzelnen Kategorien müssen dabei möglichst die Kriterien der Genauigkeit, der Exklusivität und der Exhaustivität erfüllen (Döring & Bortz, 2016). Einzelne Kategorien innerhalb des Kodiermanuals müssen demnach so gestaltet sein, dass die jeweiligen Ausprägungen möglichst genau definiert werden, dass sich die jeweiligen Ausprägungen gegenseitig ausschließen und dass die jeweiligen Ausprägungen das zu messende Merkmal erschöpfend beschreiben. Diesen Ausprägungen werden im Kodiermanual bestimmte Zahlenwerte (Codes) zugeordnet, die im Anschluss an die Datenerhebung zur statistischen Auswertung herangezogen werden (Rössler, 2017). Das Kodiermanual enthält neben dem Ziel der Studie, den Angaben zum Datenmaterial und allgemeinen Hinweisen zur Kodierung, die einzelnen Kategorien des Kategoriensystems mit exakten Definitionen, Kategorienausprägungen, den zugeordneten Zahlencodes und ggf. weiteren Kodierhinweisen (Döring & Bortz, 2016).

Die Entwicklung eines Kategoriensystems bzw. eines Kodiermanuals geschieht in der Regel „sowohl theoriegeleitet (deduktiv) als auch empiriegeleitet, d.h. anhand des Untersuchungsmaterials (induktiv)“ (Diaz-Bone & Weischer, 2015, S. 191). Ausgehend von einer spezifischen Forschungsfrage oder Forschungshypothese werden Kategorien theoretisch hergeleitet und Merkmale des zu messenden Konstrukts herausgearbeitet (Döring & Bortz, 2016). Der so entstehende erste Entwurf dient als Basis für Änderungen und Erweiterungen (Burzan, 2015). Die darauffolgende induktive Überarbeitung hat den Zweck, die inhaltliche Passung des Kategoriensystems mit den Daten und die Anwendbarkeit des Instruments zu erhöhen (Döring & Bortz, 2016). Mit der induktiven Überarbeitung werden die Analyse- und die Kodiereinheit für die Kodierung festgelegt (Früh, 2017). Bei der Analyseeinheit handelt es sich um das Element, über das eine Aussage angestrebt wird, also um das Untersuchungsobjekt (Burzan, 2015; Döring & Bortz, 2016). Die Kodiereinheit dagegen ist die Einheit im Dokument, „auf die das Kategorienschema angewandt wird“ (Burzan, 2015, S. 60). Häufig sind Kodiereinheit und Analyseeinheit identisch. Nur wenn eine Kategorie nicht einmalig auf das gesamte Dokument, sondern beispielsweise auf mehrere einzelne Absätze des Dokuments anzuwenden ist, weichen Kodier- und Analyseeinheit voneinander ab (Burzan, 2015; Döring & Bortz, 2016).

Bei der Entwicklung des Kategoriensystems gilt es stets, die Validität des Instruments sicherzustellen (Döring & Bortz, 2016; Früh, 2017). Dies geschieht einerseits durch die sorgfältige Ableitung und Begründung der Kategorien aus der Theorie. Andererseits kann diese auch durch die Beurteilung durch Fachexpert*innen gewährleistet werden (Döring & Bortz, 2016). Die theorie- und empiriegeleitete Konstruktion des Kategoriensystems bzw. des Kodiermanuals läuft nach Früh (2017) in der sogenannten Entwicklungsphase ab. Auf diese folgt im Forschungszyklus der Inhaltsanalyse die Testphase, in der Kodierer*innen nach einer gemeinsamen Schulung eine Probekodierung vornehmen. Neben der Validität stellt in dieser Phase die Reliabilität des Instruments ein wichtiges Gütekriterium dar. Bei inhaltsanalytischen Verfahren ist die Reproduzierbarkeit der Kodierungen das Kriterium für die Verlässlichkeit des Instruments (Früh, 2017). Prinzipiell lässt sich hier zwischen Übereinstimmungs- und Reliabilitätsmaßen unterscheiden: „Maße der Übereinstimmung […] machen eine Aussage darüber, inwiefern verschiedene Rater verschiedene Objekte jeweils exakt gleich beurteilen“ (M. A. Wirtz & Caspar, 2002, S. 34), während Reliabilitätsmaße Ähnlichkeiten in den Abständen der vergebenen Codes zum durchschnittlichen Wert quantifizieren (M. A. Wirtz & Caspar, 2002). Hierbei kann man zwischen der Intercoder- und der Intracoder-Reliabilität (bzw. Übereinstimmung) unterscheiden. Ersteres beschreibt die Verlässlichkeit des Kategoriensystems aufgrund der Übereinstimmung verschiedener Kodierer zum gleichen Datenmaterial (Früh, 2017). Letzteres meint die Verlässlichkeit der Ergebnisse aufgrund der Übereinstimmung eines Kodierenden mit den eigenen Kodierungen zum selben Datenmaterial, die in zeitlichen Abstand angefertigt wurden (Früh, 2017). Bei der Intracoder-Reliabilität handelt es sich nach M. A. Wirtz und Caspar (2002) um ein Maß zur Stabilität und Konsistenz der Kodierungen einzelner Kodierer*innen und gibt alleine betrachtet lediglich Hinweise darauf, „ob die Reliabilität durch systematische Veränderungen im Verhalten der zu ratenden Objekte über die Zeit verringert wird“ (M. A. Wirtz & Caspar, 2002,

S. 19). Die Intracoder-Reliabilität wird daher in der Regel nur bei Bedarf, z. B. bei langen Kodierungsphasen, bestimmt (Früh, 2017). Die empirische Reliabilitätsanalyse findet nach der Probekodierung in der Testphase statt (Früh, 2017). Die hier gewonnenen Erkenntnisse werden dann verwendet, um das Kodiermanual gegebenenfalls zu überarbeiten und für die anschließende Anwendungsphase, in der die eigentliche Datenerfassung stattfindet, finalisiert (Döring & Bortz, 2016; Früh, 2017).

Nachfolgend soll nun die Vorgehensweise bei der Entwicklung des vorliegenden Kategoriensystems beschrieben und das Kategoriensystem mit besonderer Berücksichtigung der Validität des Instruments vorgestellt werden.

4.4.2 Theoretische Fundierung und Validität des Kategoriensystems

Im Mittelpunkt des Forschungsinteresses dieser Arbeit standen die schriftlichen Planungen bezüglich selbstgesteuerter Experimentierprozesse, die im Verlauf des Seminars (Protokolle) sowie im Rahmen des Planungskompetenztests vor, nach und im Falle der Hauptstudie des Wintersemesters 2019/20 ca. sechs Monate nach dem Seminar von den Studierenden erstellt wurden. Diese Dokumente wurden inhaltsanalytisch ausgewertet, um Aussagen über die Qualität der jeweiligen Planung und damit auch über Qualitätsunterschiede zwischen den Messzeitpunkten der Evaluationsstudie treffen zu können. Auch sollten Rückschlüsse auf die experimentelle Planungskompetenz der Studierenden ermöglicht werden (Forschungsfrage 3). Die Fragestellung, die die Entwicklung des Kategoriensystems begleitete lautet: *„Welche Kriterien müssen in einer schriftlichen Planung erfüllt sein, um von einer qualitativ hochwertigen Planung sprechen zu können?“*

Ziel war es, einzelne Merkmale und Kriterien in der Literatur zu identifizieren, welche dieses Konstrukt möglichst erschöpfend abbilden, um durch die Kodierung den jeweiligen Grad der Ausprägungen einzuschätzen und einen Score-Wert für das jeweils zu untersuchende Dokument zu ermitteln. Je höher der ermittelte Score-Wert ist, desto höher ist die Qualität der schriftlichen Planung und damit die Planungskompetenz der Autorin / des Autors.

In Abbildung 4-12 ist die Vorgehensweise abgebildet, die bei der Entwicklung des Kategoriensystems herangezogen wurde. Dieses wurde zunächst deduktiv-theoriegleitet auch in Anlehnung an bereits bestehende Instrumente zur Analyse schriftlicher Unterrichtsplanungen (König et al., 2015; Schröder et al., 2020; Weingarten, 2019) bzw. Instrumente zur Analyse von Unterrichtssituationen in Zusammenhang mit Experimentieren (Börlin, 2012; Alexandra Schulz, 2011; Stiller, 2015; Tesch, 2005) entwickelt.

Abbildung 4-12: Vorgehensweise bei der Entwicklung des Kodiermanuals vgl. Döring und Bortz (2016)

In vielen allgemeindidaktischen Planungsmodellen spielen die Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler eine bedeutsame Rolle (Zierer et al., 2015). Auch im Modell der Didaktischen Rekonstruktion stellen diese eine der drei bedeutsamen und in Zusammenhang stehenden Planungsaspekten dar (Kattmann, 2007). Für eine qualitativ hochwertige Planung spricht demnach neben der fachlichen Korrektheit der Planung auch eine angemessene Analyse gewisser Lernvoraussetzungen, welche für die geplante Experimentieraufgabe relevant sind. Neben der Handlungsvorbereitung dienen Planungen auch der Legitimation und Begründung von Unterrichtshandlungen (Vogelsang & Riese, 2017). Deshalb gehört zu einer qualitativ hochwertigen Planung auch eine gewisse Begründungsqualität. Einige Planungsratgeber heben zudem die Konkretheit der Verlaufsbeschreibungen und Bedingungsanalysen hervor (Vogelsang & Riese, 2017). Ein wichtiges Qualitätskriterium für schriftliche Planungen stellt darüber hinaus die Passung einzelner Planungsaspekte untereinander dar (vgl. Kapitel 2.1.3). Im Modell der Didaktischen Rekonstruktion wird diese Idee ebenfalls aufgegriffen, da sich die einzelnen Planungsaspekte nur in wechselseitiger Abstimmung realisieren lassen. König et al. (2015) werten in ihrer Arbeit zur Erfassung adaptiver Planungskompetenz die Abstimmung zwischen der Aufgabe und dem Vorwissen der Schülerinnen und Schülern ebenso als Quali-

tätskriterium. Im Rahmen der Modellierung von Werner, Wernke und Zierer (2017) wurden drei Kriterien empirisch erarbeitet, welche eine Unterscheidung von Novizen, Fortgeschrittenen und Experten hinsichtlich ihrer Planungskompetenz ermöglichen. So unterscheiden sich die Planungen dieser Gruppen hinsichtlich ihrer Dimensionalität, ihrer Perspektivität und ihres Verständnisses. Fortgeschrittene und Experten tätigen eine Vielzahl an Überlegungen, welche nicht nur eine Phase des Unterrichts betreffen (Dimensionalität). Sie nehmen neben ihrer eigenen auch andere Perspektiven ein (Perspektivität) und beschreiben ihre Planungsüberlegungen tiefgründig und differenziert (Verständnis). Insgesamt wurden aus diesen Arbeiten die allgemeindidaktischen Kriterien Lerngruppe, Detailliertheit der Beschreibung, Begründung der Maßnahmen sowie die verschiedenen Passungskriterien abgeleitet, die bei der deduktiven Entwicklung des Kategoriensystems Berücksichtigung fanden.

Es galt neben allgemeindidaktischen Kriterien für Unterrichtsplanungen spezielle Qualitätskriterien für Experimentierprozesse und Kriterien für deren offene Gestaltung in der Literatur zu identifizieren und in die Überlegungen einzubeziehen. Für die Auswahl von Qualitätskriterien in Bezug auf Experimentierprozesse wurden unter anderen die Arbeiten von Börlin (2012) und Alexandra Schulz (2011) zu Rate gezogen. Dort wurden bereits Konzeptualisierungen zu Qualitätskriterien bzw. empirische Untersuchungen zu deren Zusammenhang mit dem Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler vorgenommen. Da sich diese Arbeiten jeweils auf die Analyse von Unterrichtsvideos und nicht auf schriftliche Planungen beziehen, galt es die von ihnen erarbeiteten Kriterien auf die hier vorliegende Testsituation anzupassen. Börlin (2012) betrachtet Experimentierprozesse als Prozesse, welche die Reflexion der gewonnenen Erkenntnisse und/oder des Prozesses, der diese hervorgebracht hat, bewusst thematisieren sollen. Darüber hinaus sollten Experimentierprozesse unabhängig von anderen Merkmalen angemessen in die Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler und/oder den vorangegangen und noch folgenden Unterricht eingebettet werden (Börlin, 2012). Alexandra Schulz (2011) hebt u. a. den Bezug zur Lebenswelt, die Einbringung von Vorwissen sowie Maßnahmen zur Schülerorientierung und Individualisierung hervor. Die offene Gestaltung von Experimentierprozessen war Gegenstand des zu evaluierenden Seminars, weshalb in der Theoriephase die Offenheitsdimensionen nach Priemer (2011) inhaltlich besprochen wurden. Aus diesem Grund wurde speziell diese Kategorisierungsmöglichkeit ebenfalls in die Überlegungen zu den Kriterien in Bezug auf die Offenheit der Experimentierprozesse einbezogen. Da selbstgesteuertes Experimentieren in aller Regel die Verwendung von zusätzlichen Unterstützungsmaßnahmen erfordert (vgl. Kapitel 2.3.4), wurden Kategorien zur Erfassung der Qualität der Unterstützungsmaßnahmen entwickelt, welche sich vorrangig an Grundideen des Konzepts der gestuften Lernhilfen orientieren (Kapitel 2.3.4.4).

Als Analyseeinheit wurde aufgrund des Forschungsinteresses sowohl die schriftlichen Planungen, die im Rahmen des Planungskompetenztests erstellt wurden (Kapitel 4.3.4), als auch die von den Studierenden im Verlauf des Seminars erstellten Protokolle (Kapitel 4.3.5) festgelegt. Diese Vorgehensweise sollte einen Vergleich der Ergebnisse im Planungskompetenztest mit der Qualität der Protokolle ermöglichen und diente

u. a. der Validierung des Instruments. Anhand zufällig ausgewählter Daten der Pilotierungsstudie wurde das Kategoriensystem im Rahmen der Abschlussarbeiten von Spitz (2020) und Khagy (2020) induktiv überarbeitet und so an die spezifische Datenlage angepasst (vgl. Schritt 2 in Abbildung 4-12). Spitz (2020) überarbeitete die Ausprägungen der bereits vorhandenen Kategorien anhand des Datenmaterials. Khagy (2020) überprüfte die Vollständigkeit des Kodiermanuals auf Grundlage der Daten und entwickelte theoriegeleitet fehlende Subkategorien, welche genauer ausdifferenziert und operationalisiert wurden. Betroffen waren hier vorrangig Qualitätskriterien, die den Experimentierprozess aus epistemologischer Sicht betreffen. Bei der Überarbeitung wurde stets auf die Validität des Instruments und die Vergleichbarkeit der beiden Analyseeinheiten geachtet.

In einem Pre-Test mit sieben Dokumenten der Hauptstudie des Sommersemesters 2019 wurde das Kodiermanual auf seine Anwendbarkeit hin untersucht und es wurden entsprechende Anpassungen vorgenommen. Nach der Revision und Anpassung des Kodiermanuals wurde es Mitarbeiter*innen der Chemiedidaktik Regensburg zur Durchsicht und Kontrolle vorgelegt. Resultierende Anmerkungen wurden geprüft und unter Berücksichtigung der Validität des Instruments eingearbeitet.

Das so entwickelte Kategoriensystem umfasste insgesamt 27 Subkategorien, welche in sieben thematischen Einheiten zusammengefasst waren. Tabelle 4-9 zeigt eine Übersicht über das gesamte Kategoriensystem, wie es für die Reliabilitätsanalyse verwendet wurde.

Tabelle 4-9: Kategoriensystem vor der Reliabilitätsanalyse

Oberkategorien	**Subkategorien**	**Codes**
1. Fachliche Aspekte	1.1. Fachliche Korrektheit	0, 1, 2, 3
2. Lerngruppe	2.1. Fachliche Voraussetzungen 2.2. Methodische Voraussetzungen 2.3. Aktivierung von Vorwissen	0, 1, 2 0, 1, 2 0, 1, 2, 3
3. Offenheit des Experimentierprozesses	3.1. Detailliertheit der Beschreibung 3.2. Passung der Ausführungen mit der Planung 3.3. Kohärenz 3.4. Öffnungsgrad 3.5. Zusätzliche Differenzierung 3.6. Begründung des Öffnungsgrades	0, 1, 2, 3 0, 1, 2, 3 0, 1 0, 1, 2, 3 0, 1, 2, 3 0, 1, 2
4. Unterstützungsmaßnahmen	4.1. Detailliertheit der Beschreibung 4.2. Ausarbeitung optionaler Unterstützungsmaßnahmen 4.3. Differenzierungsgrad 4.4. Unterstützungsebenen 4.5. Begründung der Unterstützungsmaßnahmen	0, 1, 2, 3 0, 1 0, 1, 2, 3 0, 1, 2, 3 0, 1, 2

5. Einbettung	5.1. Fachimmanente Einbettung 5.2. Lebensweltliche Einbettung 5.3. Zielklarheit 5.4. Generalisierung und Verallgemeinerung	0, 1, 2, 3 0, 1, 2, 3 0, 1 0, 1
6. Passung	6.1. Passung der Lerngruppe auf Experimentierprozess 6.2. Passung zwischen Lernziel und Experimentierprozess 6.3. Passung zwischen Unterstützungsmaßnahmen und Offenheit	0, 1, 2, 3 0, 1, 2, 3 0, 1, 2, 3
7. Experimentierprozess	7.1. Frage-/Problemstellung 7.2. Phasen des Experimentierprozesses 7.3. Prozessreflexion 7.4. Ergebnisreflexion 7.5. Kontrollstrategien	0, 1, 2 0, 1 0, 1 0, 1 0, 1, 2, 3

Das Kodiermanual beinhaltet neben diesem Kategoriensystem für jede der 27 Subkategorien das Erkenntnisinteresse, eine Grundregel zur Kodierung, eine Beschreibung des theoretischen Hintergrunds der Kategorie zur Nachvollziehbarkeit der Kategorienherkunft sowie die jeweiligen Ausprägungen mit den entsprechenden Codes. Je nach Kategorie gibt es dabei eine unterschiedliche Anzahl an Ausprägungen, nämlich 0 und 1 für ein dichotomes Merkmal sowie 0, 1, 2 und 0, 1, 2, 3 für polytome Merkmale (vgl. Tabelle 4-9). Zusätzlich gab es bei den Kategorien 3.2, 4.3 und 4.4 die Ausprägung „- 77“. Diese wird kodiert, falls aufgrund fehlender oder ungenauer Angaben seitens der Studierenden keine Einschätzung hinsichtlich dieser Kategorie vorgenommen werden konnte. Diese unterschiedliche Ausdifferenzierung der einzelnen Kategorien entstand durch Abgleich mit den Dokumenten im Rahmen der induktiven Überarbeitung. Um bei der späteren Datenauswertung keine unbeabsichtigte und inhaltlich schwer zu begründende Gewichtung einzelner Kategorien zu erhalten, werden die so eingetragenen Codes mit dem Programm R-Studio nach der Kodierung aufbereitet und hinsichtlich ihrer Skalierung vereinheitlicht (siehe Kapitel 4.5.2).

Im Anschluss an die vorläufige Fertigstellung des Kategoriensystems und des Kodiermanuals wurde mit den insgesamt drei Kodiererinnen eine gemeinsame Kodiererschulung durchgeführt, welche an zwei Terminen stattfand. Am ersten Termin wurden das gesamte Kodiermanual besprochen, die Analyseeinheiten geklärt und es wurde auf die Grundideen sowie die genauen Ausprägungen und Hinweise der einzelnen Kategorien eingegangen. Wie in Döring und Bortz (2016) beschrieben wurden anschließend zwei Beispieldokumente von allen drei Kodiererinnen unabhängig voneinander kodiert und die Erfahrungen beim Kodieren sowie die Ergebnisse während des zweiten Termins verglichen und diskutiert. In diesem Rahmen wurden Unklarheiten genau analysiert und so eine möglichst konsistente Anwendung des Kodiermanuals sichergestellt. Nach der Kodiererschulung wurden die Daten für die Reliabilitätsanalyse an alle drei Kodiererinnen verteilt. Die Vorgehensweise bei Prüfung der Reliabilität wird in Kapitel 4.4.3 genauer behandelt.

4.4.3 Vorgehensweise bei der Reliabilitätsanalyse

Neben der Validität ist auch die Reliabilität des Messinstruments sicherzustellen. Wie in Kapitel 4.4.1 bereits ausgeführt, wird bei inhaltsanalytischen Verfahren dafür die Intercoder-Reliabilität zwischen zwei oder mehreren Kodierenden herangezogen.
Nach Döring und Bortz (2016, S. 566) ist die Vorgehensweise bei der Analyse der Intercoder-Reliabilität für jede einzelne Kategorie wie folgt gegliedert:

1. Auswahl des Materials zur Reliabilitätsbestimmung
2. Festlegung der Anzahl der Kodierenden
3. Wahl der geeigneten Reliabilitätskoeffizienten passend zum Skalenniveau
4. Interpretation der Reliabilitätskoeffizienten
5. Darstellung der Reliabilitätsmaße im Ergebnisbericht

Diese Schritte wurden auf die vorliegende Studie angewendet. Die Ergebnisse der Reliabilitätsanalyse und die daraus folgenden Konsequenzen für die Finalisierung des Kodiermanuals finden sich in Kapitel 4.4.4.

Auswahl des Materials und Festlegung der Anzahl der Kodierenden

Für die Reliabilitätsanalyse werden konventionell „10–20% des Materials oder ca. 20–25 Dokumente herangezogen“ (Döring & Bortz, 2016, S. 566). Für die vorliegende Studie wurde eine Anzahl von 16 Dokumenten pro Analyseeinheit (Planungskompetenztests und Protokolle) für die Reliabilitätsanalyse festgelegt. Diese insgesamt 32 Dokumente stammen von acht unterschiedlichen Proband*innen der Pilotstudie und wurden nicht bei der Entwicklung des Kodiermanuals verwendet. Pro Testperson wurden zwei Protokolle sowie Prä- und Postversion des Planungskompetenztests ausgewählt. Bei einer Gesamtstichprobe von 120 Planungskompetenztests stellen die 16 ausgewählten Dokumente einen Anteil von über 13 % dar. Dieser Wert wird entsprechend den obigen Angaben als angemessen betrachtet. Der Gesamtumfang aller im Laufe der Pilot- und Hauptstudie erhobenen Protokolle liegt bei 288 Dokumenten. Im Rahmen der Auswertungen der Hauptstudie wurden insgesamt 72 Protokolle herangezogen, sodass die Auswahl von 16 Protokollen (ca. 22 % von 72 Protokollen) als angemessen erachtet werden kann.

Die 32 ausgewählten Dokumente wurden von drei unabhängigen Kodiererinnen analysiert (vgl. Tabelle 4-10). Bei Kodiererin 2 bzw. 3 handelt es sich um die Studentinnen, die bereits im Rahmen ihrer schriftlichen Abschlussarbeiten bei der induktiven Überarbeitung des Kodiermanuals mitgewirkt haben (vgl. Kapitel 4.4.2). Kodiererin 1 wurde zusätzlich hinzugezogen und im Rahmen einer Kodiererschulung in die Arbeit mit dem Kodiermanual eingeführt. Kodiererin 1 und 3 kodierten dabei alle 32 Dokumente und damit 100 % der gewählten Stichprobe. Kodiererin 2 analysierte alle 16 Planungskompetenztests und acht der insgesamt 16 Protokolle, was zu einer Überschneidung von 75 % mit den beiden anderen Kodiererinnen führte. Damit wurden 75 % (24 Dokumente) von drei Kodiererinnen und 25 % (8 Dokumente) von zwei Kodiererinnen ausgewertet (Tabelle 4-10).

Tabelle 4-10: Überschneidungsbereiche der drei Kodiererinnen

Kodiererin	16 PlaKo-Tests	16 Protokolle
1	100 %	100 %
2	100 %	50 %
3	100 %	100 %

Wahl eines geeigneten Reliabilitätskoeffizienten

Um möglichst detaillierte Informationen über die grundsätzliche Objektivität des Kodiermanuals zu erhalten, wurden neben der Übereinstimmung in Bezug auf alle Kategorien zusätzlich die Übereinstimmungen in den 27 Subkategorien analysiert. Jede der 27 Kategorien im Kodiermanual wurde so erstellt, dass die einzelnen Ausprägungen eine Rangfolge darstellen. Das bedeutet: je höher der Code desto stärker ist das beschriebene Merkmal in der schriftlichen Planung ausgeprägt. Damit besitzt sowohl die Gesamtskala als auch jede einzelne Subkategorie ein ordinales Skalenniveau. Die Abstände zwischen den jeweiligen Codes können dabei nicht als gleich angesehen werden, weswegen nicht von intervallskalierten Daten ausgegangen werden kann. Zur Analyse der einzelnen Kategorien wurde daher Krippendorffs Alpha für ordinalskalierte Daten als Reliabilitätskoeffizient gewählt. Dieser Koeffizient eignet sich deshalb für die vorliegende Datenstruktur, da dieser unabhängig von der Anzahl der Kodierenden, unabhängig vom Skalenniveau der Kategorien und auch bei fehlenden Daten sowie bei kleinen Stichproben angewendet werden kann (Hayes & Krippendorff, 2007; Krippendorff, 2004). Alpha errechnet sich dabei wie folgt (Krippendorff, 2004):

$$\alpha = 1 - \frac{D_o}{D_e} = 1 - \frac{Observed\ Disagreement}{Expected\ Disagreement}$$

Die beiden Terme D_o und D_e werden je nach zugrunde liegendem Skalenniveau mittels unterschiedlicher metrischer Funktionen berechnet. Für einen Überblick der Berechnungsmethoden mit jeweiligen Rechenbeispielen sei an dieser Stelle auf Krippendorff (2011) verwiesen. Stimmen die Kodierer*innen vollständig in ihren Urteilen überein, gilt also $D_o = 0$, so folgt $\frac{D_o}{D_e} = 0$ und damit $\alpha = 1$. Ein solcher Wert spricht für eine perfekte Interrater-Reliabilität (Krippendorff, 2011).

Tabelle 4-11: Interpretation des Krippendorff Alpha (Krippendorff, 2004)

Krippendorffs Alpha	Interpretation
$\alpha \geq .800$	sehr gute Reliabilität
$.800 > \alpha \geq .667$	akzeptable Reliabilität
$.667 > \alpha$	unzureichende Reliabilität

Entspricht die beobachtete Übereinstimmung dagegen der per Zufall erwarteten, also $D_o = D_e$, ergibt sich ein Alpha von 0, was die Abwesenheit einer Interrater-Reliabilität

belegt (Krippendorff, 2011). Für die Interpretation der Reliabilität wird demnach ein Wertebereich von 0 bis 1 herangezogen (Hayes & Krippendorff, 2007). Negative Alpha-Werte sprechen für eine systematische Uneinigkeit und sind nicht zur Interpretation der Reliabilität geeignet (Krippendorff, 2011). Die Wertebereiche, welche zur Interpretation des Alpha-Koeffizienten herangezogen werden können, sind in Tabelle 4-11 abgebildet. Da unzureichende Reliabilitätsmaße auch durch die fehlende Varianz der vergebenen Codes zustande kommen können (M. A. Wirtz & Caspar, 2002), wurde für jede Kategorie neben dem Krippendorffs Alpha zusätzlich die prozentuale Übereinstimmung der Kodierungen für jedes Kodiererinnen-Paar bestimmt. Dieser Koeffizient macht Aussagen über den absoluten Anteil vollständig übereinstimmender Kodierungen an der Gesamtzahl aller Kodierungen möglich. Dabei bleibt die Übereinstimmungswahrscheinlichkeit bei einer zufälligen Kodierung jedoch unberücksichtigt, so dass dieser Koeffizient nicht als Reliabilitätskoeffizient, sondern als Übereinstimmungskoeffizient bezeichnet wird (M. A. Wirtz & Caspar, 2002).

4.4.4 Reliabilitätsanalyse und Finalisierung des Kodiermanuals

Die Koeffizienten der Mehrfachkodierungen (vgl. Kapitel 4.4.3) wurden mit dem Paket „irr“ mit R-Studio analysiert (Gamer, Lemon, Fellows & Singh Puspendra). Dazu wurden die Koeffizienten einerseits in Bezug auf die Gesamtskala (Tabelle 4-12 bis Tabelle 4-15) und andererseits in Bezug auf alle 27 Einzelkategorien separat berechnet (Tabelle 4-16).

Tabelle 4-12: Intercoder-Reliabilität und -übereinstimmung Gesamtskala zwischen Kodiererinnen 1 und 2

Reliabilitäts-/Übereinstimmungs-Koeffizient	Errechneter Wert
Prozentuale Übereinstimmung	71 %
Krippendorffs Alpha	0.743

Tabelle 4-13: Intercoder-Reliabilität und -übereinstimmung Gesamtskala zwischen Kodiererinnen 1 und 3

Koeffizient	Errechneter Wert
Prozentuale Übereinstimmung	74.3 %
Krippendorffs Alpha	0.817

Tabelle 4-14: Intercoder-Reliabilität und -übereinstimmung Gesamtskala zwischen Kodiererinnen 2 und 3

Koeffizient	Errechneter Wert
Prozentuale Übereinstimmung	75.8 %
Krippendorffs Alpha	0.814

Tabelle 4-15: Intercoder-Reliabilität Gesamtskala Kodiererin 1, 2 und 3

Koeffizient	Errechneter Wert
Krippendorffs Alpha	0.793

Wie den Tabellen 16 bis 19 entnommen werden kann, befinden sich die errechneten Koeffizienten in einem mindestens akzeptablen Bereich. Die Koeffizienten der Kodiererinnen 1 und 3 bzw. 2 und 3 können darüber hinaus als sehr gut betrachtet werden (vgl. Tabelle 4-11).

Um den Überarbeitungsbedarf einzelner Subkategorien feststellen zu können, wurden diese separat hinsichtlich ihrer Übereinstimmung analysiert (Tabelle 4-16). Das verwendete Krippendorffs Alpha für ordinal-skalierte Daten bezieht sich dabei auf die Kodierungen aller drei Kodiererinnen. Die prozentuale Übereinstimmung wurde pro Kodiererinnenpaar ermittelt:

Tabelle 4-16: Intercoder-Reliabilität und prozentuale Übereinstimmung (K = Kodiererin)

Kategorie	Krippendorffs Alpha	Übereinstimmung K1 K2 in %	Übereinstimmung K2 K3 in %	Übereinstimmung K1 K3 in %
1	0.297	54.2	62.5	75.0
2.1	0.419	87.5	83.3	90.6
2.2	0.617	79.2	83.3	90.6
2.3	0.574	66.7	79.2	56.2
3.1	0.796	62.5	79.2	75.0
3.2	0.364	50.0	70.8	68.8
3.3	- 0.019	58.3	75.0	59.4
3.4	0.495	45.8	79.2	59.4
3.5	0.589	95.8	95.8	87.5
3.6	0.763	75.0	87.5	84.4
4.1	0.677	62.5	70.8	65.6
4.2	0.954	95.8	95.8	100
4.3	0.969	87.5	83.3	81.2
4.4	0.955	91.7	83.3	75.0
4.5	0.667	83.3	70.8	75.0
5.1	0.624	83.3	87.5	87.5
5.2	0.410	54.2	79.2	68.8
5.3	0.646	91.7	100	93.8
5.4	0.320	87.5	75.0	78.1
6.1	0.408	37.5	33.3	46.9
6.2	0.417	37.5	45.8	59.4
6.3	0.855	75.0	62.5	68.8
7.1	0.120	54.2	70.8	53.1
7.2	0.161	87.5	91.7	93.8
7.3	0.388	87.5	95.8	87.5
7.4	0.390	75.0	70.8	68.8
7.5	0.281	50.0	33.3	56.2

Wie der Tabelle 4-16 zu entnehmen ist, entsprechen die Koeffizienten von acht der insgesamt 27 Kategorien einer mindestens akzeptablen Reliabilität bzw. Übereinstimmung (grün markiert). Die Kategorien 3.1, 3.6, 4.1 und 4.5 können nach Krippendorff (2004) als akzeptabel angesehen werden. Die Kategorien 4.2 bis 4.4 sowie 6.3 weisen sogar sehr gute Übereinstimmungswerte auf. In sieben Fällen unterschritten die Koeffizienten zwar den Krippendorffs Alpha Wert von .667 und sprechen damit für eine unzureichende Intercoder-Reliabilität, die absolute prozentuale Übereinstimmung der Kodiererinnen legt hier dennoch eine akzeptable Übereinstimmung nahe (gelb markiert). In den restlichen 12 Fällen liegt weder das Krippendorffs Alpha noch die prozentuale Übereinstimmung der Kodiererinnen in einem akzeptablen Bereich (rot markiert).

In Zusammenarbeit mit Spitz (2020) und Khagy (2020) wurden auf diese Weise diejenigen Kategorien ermittelt, welche zur Finalisierung des Kodiermanuals überarbeitet werden mussten. In diesem Arbeitsschritt wurden die Kodierungen miteinander verglichen und in Bezug zum Kodiermanual gesetzt, um so notwendige Präzisierungen und Veränderungen der Kategorien oder andere Konsequenzen zu erarbeiten. Häufig wurde der Umgang mit Grenzfällen diskutiert und diese in Form von präzisierenden Hinweisen in den Kategorien aufgenommen. Abgrenzungen zwischen den Ausprägungen wurden ausgeschärft, indem passende Beispiele ergänzt wurden. Ein häufig aufgetretener Fall betraf die Frage der jeweiligen Kodiereinheit. Manche Informationen sind nicht den skizzierten Arbeitsblättern, sondern in den zugehörigen Beschreibungen zu finden. Um die Kodierung einheitlicher zu gestalten, wurde bei den betroffenen Kategorien ein entsprechender Hinweis zur Kodiereinheit eingefügt. Eine weitere vorgenommene Änderung betraf den Code „- 77“ der in den Kategorien 3.2, 4.3 und 4.4 vergeben wurde. Mit Blick auf die Auswertbarkeit der gewonnenen Daten und der Einheitlichkeit der Kategorien wurde der Code „- 77“ der Ausprägung „0“ zugeordnet. Aufgrund des negativen Krippendorffs Alpha sowie uneinheitlichen und schwer interpretierbaren Kodierungen wurde die Kategorie „Kohärenz“ aus dem Kategoriensystem entfernt. Bei Kategorie 6.2 („Passung Lernziele und Experimentierprozess“) mussten die Kodiererinnen entscheiden, inwiefern die Lernziele zum geplanten Experimentierprozess passen. Um diese Kodierungen zu vereinfachen, wurde die Hilfskategorie „Anzahl der Lernziele“ hinzugefügt, in welcher zunächst die verschiedenen Lernziele unterschieden und anschließend gezählt werden mussten. Die Kodierungen dieser Kategorie werden nicht in die Auswertungen einbezogen. Das finale Kodiermanual kann dem Anhang entnommen werden (Kapitel 10.6).

In einer gemeinsamen Schulung der Kodiererinnen wurde vor Kodierung der Daten der Hauptstudie jede Kategorie einzeln thematisiert und die vorgenommenen Veränderungen detailliert unter Zuhilfenahme passender Beispiele besprochen. Für die anschließende Kodierung der Dokumente von 24 Proband*innen der Hauptstudie wurden zwei der drei bereits geschulten Kodiererinnen eingesetzt. Diese kodierten jeweils ca. die Hälfte der Planungskompetenztests, wobei erneut insgesamt 15 Dokumente (ca. 21 %) doppelt kodiert wurden. Für die Kodierung der insgesamt 72 Protokolle fand ebenfalls eine überlappende Kodierung von 15 Dokumenten (ca. 20 %) statt. Die zur Auswertung

herangezogenen Kodierungen wurden hier jedoch durchgehend von Kodiererin 1 vorgenommen. Lediglich zur Berechnung der Intercoder-Reliabilität wurden die Kodierungen des Autors dieser Arbeit hinzugezogen, da Kodiererin 2 nicht mehr für weitere Kodierungen zur Verfügung stand.

Tabelle 4-17: Übersicht Doppelkodierung nach der Finalisierung des Kodiermanuals

Kodierer*in	**69 PlaKo-Tests**			**72 Protokolle**	
1	30	15		15	57
2		15	24	-	
Autor	-			15	

Im Anschluss an diese Kodierungen wurden die gewonnenen Daten im Rahmen der Forschungsfragen 3, 4 und 5 statistisch ausgewertet. Es wurden erneut die prozentuale Übereinstimmung und das Krippendorfs Alpha für ordinal skalierte Daten berechnet. Die Ergebnisse in Bezug auf die Entwicklung der experimentellen Planungskompetenz bzw. der im Verlauf des Seminars entwickelten Entwürfe werden in Kapitel 6.4 bzw. 6.5 dargestellt. Die Ergebnisse hinsichtlich der Objektivität, Reliabilität sowie Validität des Instruments werden in Kapitel 6.6 geschildert.

4.5 Gütekriterien und Hinweise zur Datenauswertung

Im folgenden Kapitel werden zunächst die Hauptgütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität thematisiert. Dabei erfolgt jeweils eine kurze Begriffsklärung des jeweiligen Kriteriums mit Nennung der üblichen Unterkriterien bzw. Teilaspekte. Anschließend wird eine Einordnung vorgenommen, inwiefern diese Aspekte in der vorliegenden Studie berücksichtigt bzw. sichergestellt wurden. In Kapitel 4.5.2 werden dann die verwendeten mathematischen und statistischen Methoden, die bei der Auswertung der erhobenen Daten angewendet wurden, näher beleuchtet. Alle mathematischen Operationen, statistischen Berechnungen sowie Analysen, die im Rahmen dieser Arbeit vorgenommen worden sind, wurden mit dem Programm „R“ durchgeführt (R Core Team, 2021). Alle Grafiken und Diagramme wurden mit dem Paket „ggplot2“ erstellt (Wickham, 2016).

4.5.1 Gütekriterien

Objektivität

Objektivität als wissenschaftliches Gütekriterium meint die Unabhängigkeit eines Tests bzw. seiner Ergebnisse von den Untersuchenden und stellt eine Grundvoraussetzung für die Reliabilität und Validität dar (Rost, 2013). Unterschieden wird dabei zwischen der Durchführungs-, der Auswertungs- und der Interpretationsobjektivität (Bortz & Döring, 2006).

Um die Durchführungsobjektivität zu gewährleisten, muss auf standardisierte Instruktionen zur Testdurchführung geachtet werden, welche individuelle Spielräume der

Proband*innen eliminieren (Bortz & Döring, 2006). In den Pre- und Post-Testungen der vorliegenden Studie wurden die verwendeten Tests und Fragebögen deshalb unter standardisierten Bedingungen durchgeführt. Das bedeutet konkret, dass die Versuchsleitung bei allen Pre- und Post-Testungen anwesend war, auf eine standardisierte Instruktion zur Bearbeitung der Tests und Fragebögen geachtet wurde und die Durchführung räumlich und zeitlich standardisiert stattfand. Der Follow-Up-Test in der Hauptstudie wurde als Online-Version von den Studierenden zu Hause bearbeitet. Die Instruktionen zur Bearbeitung waren dabei identisch zu den vorangegangenen Testungen. Im Vorfeld wurde sichergestellt, dass alle Teilnehmer*innen mit dem Online-Tool vertraut sind. Dies wurde dadurch bewerkstelligt, indem bereits während des Seminars bei der Post-Testung der Hauptstudie im Wintersemester 2019/20 mit „SoSci Survey“ gearbeitet wurde. Um die zeitliche Standardisierung des Follow-Up-Tests sicherzustellen, wurden die Studierenden in einem Anschreiben genau instruiert und zur Einhaltung der zeitlichen Vorgaben und zum Verzicht auf externe Hilfsmittel verpflichtet. Da die verwendeten Instrumente keine eindeutig richtigen oder falschen Antworten beinhalten, konnten die Studierenden auf keine konkreten Hilfsmittel zurückgreifen.

Die Auswertungsobjektivität ist gegeben, wenn die Vergabe von Testpunkten unabhängig vom Auswerter bzw. von der Auswerterin ist (Bortz & Döring, 2006). Die Paper-Pencil-Tests wurden zunächst per Hand sorgfältig in eine Excel-Tabelle bzw. SPSS-Datei übertragen und mehrmals auf Korrektheit überprüft. Durch die Arbeit mit dem Online-Tool ab dem Post-Test im Wintersemester 2019/20 mussten die Angaben der Studierenden nicht mehr per Hand übertragen werden, sodass hier eine maximale Objektivität sichergestellt werden konnte. Die Punktevergabe im Test zum experimentell-fachdidaktischen Wissen und im Planungskompetenztest wurde mit Hilfe des Programms R-Studio vorgenommen, sodass hier eine vom Auswerter vollständig unabhängige Punkte-Vergabe stattfand. Anders verhält es sich mit den Kodierungen der handschriftlichen Planungen im Rahmen des experimentellen Planungskompetenztests. Diese wurden sorgfältig Wort für Wort in ein jeweiliges Microsoft-Word-Dokument übertragen. Auch Inhalt und Struktur der hier skizzierten Arbeitsblätter wurden vollständig übernommen. Hier wurde durch möglichst klare Beschreibungen und Operationalisierungen der einzelnen Kategorien versucht, ein objektives Kodiermanual zu entwerfen. Die tatsächlichen finalen Übereinstimmungswerte zwischen mehreren Kodierer*innen als Indikator für die Objektivität des Manuals sind Gegenstand der Forschungsfrage 5 und werden in Kapitel 6.6.1 des Ergebnisberichts behandelt.

Interpretationsobjektivität ist erfüllt, wenn keine individuellen Deutungen zur Interpretation der Ergebnisse herangezogen werden (Bortz & Döring, 2006). Der Interpretationsobjektivität wurde Rechnung getragen, indem alle Interpretationen auf Basis statistischer Normen bzw. standardisierter Maßstäbe (z. B. Effektstärkemaße) vorgenommen wurden.

Reliabilität

In der klassischen Testtheorie geht man davon aus, dass jeder Messwert mit Messfehlern behaftet ist (Bühner & Ziegler, 2017). Je höher die Reliabilität eines Instruments ist, desto geringer fällt dieser Messfehler aus (Bortz & Döring, 2006). Demensprechend versteht man unter dem Begriff der Reliabilität den Grad der Genauigkeit einer Messung (Bortz & Döring, 2006). Dabei kann ein Messinstrument reliabel also verlässlich sein, ohne dass es das misst, was es zu messen angibt (Bühner, 2011). Die Reliabilität stellt eine Voraussetzung für die Validität dar. Um die Reliabilität eines Messinstrumentes sicherzustellen bzw. zu überprüfen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Zu diesen zählen die Retestreliabilität (Korrelation zwischen den Messreihen zweier Wiederholungen desselben Tests) und die Paralleltestreliabilität (Korrelation zu einem zweiten Test, der dasselbe Konstrukt misst). Diese beiden Varianten sind mit einem erhebungstechnischen Mehraufwand verbunden (Bortz & Döring, 2006). Des Weiteren lässt sich die Verlässlichkeit eines Instruments auch mit Hilfe der Split-half-Reliabilität angeben, welche durch die Korrelation zweier beliebiger Testhälften eines Tests untereinander berechnet wird (Bortz & Döring, 2006). Eine Generalisierung der Split-half-Reliabilität stellt die interne Konsistenz dar (Rost, 2013), in der die Korrelation der einzelnen Test-Items untereinander als Reliabilitätsmaß herangezogen wird (Bortz & Döring, 2006).

In dieser Arbeit wurden für die eingesetzten Tests und Fragebögen die internen Konsistenzen mit Hilfe des Alpha-Koeffizienten nach Cronbach berechnet. Dazu wurde in dem Programm R die Funktion „alpha“ aus dem Paket „psych“ verwendet (Revelle, 2021). Üblicherweise wird dabei ein Wert von α = .7 als akzeptabel angesehen (Schmitt, 1996). Weise (1975) bezeichnet Reliabilitätswerte ab .8 als gut, zwischen .8 und .9 als mittelmäßig und ab .9 als hoch. Allerdings sollte dabei beachtet werden, dass das Cronbachs Alpha mit der Anzahl der verwendeten Test-Items steigt und die Reliabilität bei mehrdimensionalen Skalen nur geschätzt werden kann (Bortz & Döring, 2006; Schmitt, 1996). Aus diesem Grund wurde zur Überprüfung der Reliabilität des Kodiermanuals, neben dem Cronbachs Alpha zusätzlich der Spearman-Brown-Koeffizient (Split-Half-Reliabilität) berechnet. Dazu werden zunächst die Items (bzw. Kategorien) in zwei Testhälften geteilt. Für jede Testhälfte wird ein Summenwert gebildet. Für diese Summenwerte wird eine Korrelation zwischen den beiden Testhälften berechnet. Der errechnete Wert wird dann mit der Spearman-Brown-Formel $\hat{\rho}_{tt} = \frac{(2 \cdot \hat{\rho}_{12})}{1 + \hat{\rho}_{12}}$ korrigiert, wobei $\hat{\rho}_{tt}$ die geschätzte Reliabilität und $\hat{\rho}_{12}$ die ermittelte Korrelation zwischen den beiden Testhälften darstellt (Bühner, 2011, S. 162).

Bei allen Tests und Fragebögen wurden zur Berechnung der Reliabilitätskoeffizienten die Daten des Post-Test-Zeitpunkts herangezogen. Für die Reliabilitätsbestimmung der erhobenen Entwürfe während des Seminars wurden nur die Daten des dritten Messzeitpunktes herangezogen, da dieser zeitlich gesehen dem Post-Test am nächsten liegt.

In Tabelle 4-18 sind die internen Konsistenzen derjenigen Skalen abgebildet, welche bereits im Rahmen der Studie von Kobl (2021) eingesetzt wurden. Die für die vorliegenden

Stichproben ermittelten Koeffizienten der einzelnen Instrumente, Skalen und des Kodiermanuals werden im Ergebnisbericht geschildert.

Tabelle 4-18: Übersicht der Cronbachs Alpha Werte bei Kobl (2021)

Skala	Cronbachs α	Anzahl Items
Zielorientierungen	α = .67	16 Items
Fachspezifische Überzeugungen bzgl. Chemie als Wissenschaft	α = .53	10 Items
Fachspezifische Überzeugungen bzgl. Lehren von Chemie	α = .78	21 Items
Fachspezifische Überzeugungen bzgl. Lernen von Chemie	α = .50	8 Items
Selbstwirksamkeitserwartung bzgl. der Planung von Experimenten	α = .67	5 Items
Selbstwirksamkeitserwartung bzgl. der Durchführung von Experimenten	α = .74	4 Items
Selbstwirksamkeitserwartung bzgl. der Didaktischen Rekonstruktion	α = .77	8 Items
Selbstwirksamkeitserwartung bzgl. der Umsetzung der Didaktischen Rekonstruktion	α = .69	5 Items
Experimentell-fachdidaktisches Wissen	α = .85	38 Relationen

Bei inhaltsanalytischen Verfahren werden zur Beurteilung der Objektivität und Reliabilität darüber hinaus die sogenannte Intercoder-Reliabilität verwendet (M. A. Wirtz & Caspar, 2002). Die Vorgehensweise bei dieser Art der Objektivitäts- und Reliabilitätsprüfung sowie die dazu verwendeten Koeffizienten wurden bereits in Kapitel 4.4 beschrieben. Die finalen Ergebnisse der Reliabilitätsprüfung, die im Rahmen der Forschungsfrage 5 durchgeführt wurde, werden in Kapitel 6.6 geschildert.

Validität

Das Gütekriterium der Validität oder Gültigkeit ist ein Maß dafür, ob ein Messinstrument auch das misst, für dessen Messung es entwickelt wurde (Hartig, Frey & Jude, 2012). Validität ist der Objektivität und Reliabilität übergeordnet, ist dabei aber gleichzeitig „das am schwierigsten zu bestimmende Gütekriterium“ (Hartig et al., 2012, S. 144). Bei der Validität kann zwischen den drei Arten Inhalts-, Kriteriums- und Konstruktvalidität unterschieden werden (Bortz & Döring, 2006).

Inhaltsvalidität:
Wenn offensichtlich ist, dass das Instrument das misst, was es messen soll, so ist die Inhaltsvalidität, häufig auch Augenscheinvalidität genannt, erfüllt (Rost, 2013). Die In-

haltsvalidität lässt sich nicht nummerisch bestimmen, sodass es sich hierbei strenggenommen eher um eine Zielvorgabe als um ein Gütekriterium handelt (Bortz & Döring, 2006). Bei der Entwicklung des Kodiermanuals zur Erfassung der Qualität schriftlicher Planungen bezüglich selbstgesteuerter Experimentierprozesse wurde zur Einhaltung der Inhaltsvalidität darauf geachtet, die einzelnen Kategorien deduktiv aus der Literatur und aus Arbeiten die sich mit der Planung von (angehenden) Lehrkräften beschäftigen, zu entnehmen. Auch die Operationalisierungen der einzelnen Kategorien wurden stets unter Berücksichtigung theoretischer Überlegungen vorgenommen (siehe Kapitel 4.4.2). Darüber hinaus wurde das Manual von wissenschaftlichen Mitarbeiter*innen und dem Leiter der Chemiedidaktik Regensburg geprüft. Hier angeregte Verbesserungsvorschläge wurden in das Kodiermanual eingearbeitet.

Kriteriums- und Konstruktvalidität

Die Kriteriumsvalidität ist definiert als die Übereinstimmung der gemessenen Testwerte mit korrespondierenden manifesten Außenkriterien (z. B. Studienerfolg) und wird mittels Korrelationskoeffizienten quantifiziert (Döring & Bortz, 2016). Wenn aus theoretischen Überlegungen heraus ein Netz an Zusammenhangshypothesen zwischen dem zu messenden Konstrukt und weiteren Konstrukten aufgestellt werden kann und diese Hypothesen anhand der Testwerte bestätigt werden, so spricht man von einem konstruktvaliden Test (Bortz & Döring, 2006; Döring & Bortz, 2016). Dabei sollten die Testwerte mit aus theoretischer Sicht korrespondierenden Konstrukten hoch bzw. höher korrelieren (konvergente Validität); mit fremden Konstrukten sollten dagegen keine oder nur niedrige Korrelationen errechnet werden (Döring & Bortz, 2016).

Im Rahmen der Forschungsfrage 5 wird die Konstruktvalidität des entwickelten Kodiermanuals zur Erfassung der experimentellen Planungskompetenz geprüft. Dazu wurden Zusammenhangsanalysen mit den erhobenen Kontrollvariablen sowie dem experimentell-fachdidaktischen Wissen, den Selbstwirksamkeitserwartungen und den während des Seminars erhobenen Entwürfen angestellt. Die Ergebnisse dieser Analysen werden im Ergebnisteil (Kapitel 6.6.3) berichtet.

4.5.2 Hinweise zur Datenauswertung

Trennschärfen

Die Trennschärfe als Item-Kennwert ist ein Maß für die Übereinstimmung der Differenzierungsfähigkeit eines einzelnen Items mit der Differenzierungsfähigkeit des gesamten Testwertes (Moosbrugger & Kelava, 2012). Die Trennschärfe eines Items sagt also aus, inwiefern die „Beantwortung dieses Items mit dem Gesamttestwert“ (Bortz & Döring, 2006, S. 219) korreliert ist. Eine Trennschärfe von Null hieße, dass gute und schlechte Proband*innen das Item gleich häufig richtig beantworten. Negative Trennschärfen bedeuten, dass schlechte Proband*innen das Item sogar häufiger richtig bearbeiten als gute Proband*innen (Lienert & Raatz, 1998).

Zur Aufbereitung des experimentell-fachdidaktischen Wissenstest wurden die Item-Trennschärfen der einzelnen Relationen herangezogen. Vor der Auswertung wurden solche Relationen entfernt, welche eine Trennschärfe von kleiner .15 aufwiesen (vgl. Anthofer, 2017). Nur Paarvergleiche mit entsprechend hoher Trennschärfe wurden in die Bestimmung der internen Konsistenz und zur Berechnung der Score-Werte herangezogen. Die Item-Trennschärfen der jeweiligen Skalen wurden dabei mit Hilfe der Funktion „alpha“ aus dem Paket „psych“ (Revelle, 2021) berechnet. Unter dem Kürzel „r.drop“ sind diese den entsprechenden Abbildungen im Anhang zu entnehmen (Kapitel 10.7).

Berechnung von Score-Werten

Zur Auswertung des experimentell-fachdidaktischen Wissenstests sowie der schriftlichen Planungen, welche im Rahmen des experimentellen Planungskompetenztests und der Entwürfe während des Seminars erhoben wurden, wurden Score-Werte ermittelt. Im experimentell-fachdidaktischen Wissenstest wurden dazu die Punkte aller nach Bereinigung verbliebenen Relationen addiert, durch die mögliche Gesamtpunktzahl dividiert und mit 100 multipliziert.

Die schriftlichen Planungen wurden in einem ersten Schritt gemäß des Kodiermanuals (siehe Kapitel 4.4.2) kodiert. Die so vergebenen Codes wurden dann einheitlich skaliert, sodass die maximale Ausprägung in jeder Subkategorie dem Code „3“ entsprach. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, da keine inhaltliche Gewichtung der einzelnen Subkategorien vorgesehen war. So aufbereitet, wurde für jedes Dokument j ein Score-Wert durch Anwendung der folgenden Formel ermittelt:

$$Score_j = \sum_i \frac{C_{ij}}{max} \cdot 100\ \% \qquad i \in \{1, \dots, 26\}$$

Dabei ist C_{ij} der skalierte Code des Dokuments j in der Subkategorie i und max die maximal erreichbare Punktzahl im Test.

Signifikanzniveau

Bei den im Nachfolgenden erläuterten statistischen Tests handelt es sich um sogenannte Hypothesen- oder Signifikanztests. In diesen werden ausgehend von den beobachteten Stichprobendaten statistische Hypothesen (Null- und Alternativhypothese) dahingehend geprüft, ob diese in der Grundgesamtheit bzw. Population vorliegen (Bühner & Ziegler, 2017). Da es im Rahmen von Hypothesentests immer zu Fehlentscheidungen kommen kann, müssen vorab bestimmte Entscheidungsregeln festgelegt werden, ab wann die Nullhypothese bzw. Alternativhypothese verworfen bzw. angenommen werden soll (Bühner & Ziegler, 2017). Das Signifikanzniveau α bezeichnet dabei die im Vorfeld festgelegte Wahrscheinlichkeit des Fehlers 1. Art (fälschliche Ablehnung der Nullhypothese) (Bortz & Schuster, 2010). Ein Unterschreiten dieser festgelegten Grenzwahrscheinlichkeit führt

zur Ablehnung der Nullhypothese (Bühner & Ziegler, 2017). Konventionell wird ein Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ oder .01 festgelegt (Bortz & Schuster, 2010). Für die vorliegende Testsituation wurde ein Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ als angemessen angesehen. In den Diagrammen werden signifikante Ergebnisse mit einem „*“ gekennzeichnet. Ist die Überschreitungswahrscheinlichkeit $p \leq .01$ („hochsignifikant“) so wurde dies nach Konvention mit „**“ gekennzeichnet. Gilt $p \leq .001$ („höchstsignifikant“) so wurden diese Ergebnisse mit „***“ markiert. Diese Unterteilung sagt nichts über die Größe des Effektes aus, jedoch darüber, wie sehr „ein Stichprobenergebnis gegen die Nullhypothese“ spricht (Bühner & Ziegler, 2017, S. 176).

Mittelwert-Vergleiche

Um die Mittelwertsunterschiede zweier Stichproben auf statistische Signifikanz prüfen zu können, werden in dieser Arbeit sogenannte t-Tests verwendet. Bei diesem speziellen Signifikanztest handelt es sich um ein parametrisches Testverfahren zur Prüfung von Unterschieds- oder Veränderungshypothesen (Bühner & Ziegler, 2017; Döring & Bortz, 2016). Der t-Test bedient sich dabei einer Test-Verteilung, welche auf der Normalverteilung basiert. Aus diesem Grund wird für die Berechnung von t-Tests immer eine intervallskalierte und normalverteilte Datenstruktur vorausgesetzt (Bühner & Ziegler, 2017). In dieser Arbeit werden stets Vergleiche zwischen den verschiedenen Messzeitpunkten einer Stichprobe betrachtet (verbundene oder abhängige Stichprobe). Aus diesem Grund findet ausschließlich der t-Test für abhängige Stichproben Anwendung. In diesem Fall bezieht sich die Voraussetzung der Normalverteilung auf die Differenzen der jeweiligen Messzeitpunkte (Bühner & Ziegler, 2017). Berechnet wurden die t-Tests für abhängige Stichproben mit der Funktion „t.test“ aus dem Paket „stats“ (R Core Team, 2021).
Um die Mittelwertsunterschiede von drei abhängigen Stichproben zu analysieren, kann die einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (repeated Measurment Analysis of Variant kurz rM ANOVA) eingesetzt werden. Diese stellt die Verallgemeinerung eines t-Tests für abhängige Stichproben dar (Bühner & Ziegler, 2017). Mit der Varianzanalyse mit Messwiederholung kann man den Einfluss des Messzeitpunktes auf die abhängige Variable untersuchen (Bühner & Ziegler, 2017). Auch die Varianzanalyse geht im Allgemeinen von bestimmten Annahmen aus. Dazu zählen das Intervallskalenniveau der abhängigen Variablen, die Normalverteilung der abhängigen Variablen zu jedem Messzeitpunkt, die Sphärizität (Homogenität der Varianzen und Kovarianzen), die Unabhängigkeit der Beobachtungen und die Balanciertheit des Designs (Bühner & Ziegler, 2017). Ein signifikantes Ergebnis der Varianzanalyse zeigt, dass die Nullhypothese (Gleichheit aller Mittelwerte) nicht gilt bzw. sehr unwahrscheinlich ist, also dass sich mindestens zwei Gruppen oder Messzeitpunkte signifikant hinsichtlich der abhängigen Variable voneinander unterscheiden (Rasch, Friese, Hofmann & Naumann, 2014). Um genauere Informationen darüber zu erhalten, welche einzelnen Gruppen oder Messzeitpunkte sich signifikant voneinander unterscheiden, müssen im Falle eines signifikanten Ergebnisses sogenannte Post-Hoc-t-Tests durchgeführt werden. Zur Berechnung einer einfaktoriellen

Varianzanalyse mit Messwiederholung wurde die Funktion „ezANOVA“ aus dem Paket „ez“ verwendet (Lawrence, 2016).

Da es sich bei mehreren paarweisen Vergleichen um abhängige Signifikanztests handelt, kommt es hier stets zur sogenannten Alpha-Inflation gemäß der Formel $\alpha_{Gesamt} = 1 - (1 - \alpha_{Test})^m$, wobei m die Anzahl der vorgenommenen Mittelwertvergleiche darstellt (Bühner & Ziegler, 2017; Rasch et al., 2014). Dies bedeutet, dass es bei mehreren paarweisen Tests zu einer Erhöhung der Wahrscheinlichkeit des Fehlers 1. Art kommt. Bei drei Vergleichen würde dies bedeuten, dass die Nullhypothese bereits ab einem Wert von $p = .14$ abgelehnt werden würde (Bühner & Ziegler, 2017). Um das Signifikanzniveau zu korrigieren, wurde die Korrektur nach Bonferroni eingesetzt. Diese senkt durch Division durch die Anzahl der paarweisen Vergleiche das α_{Gesamt} soweit ab, dass es wieder dem ursprünglich angedachten Signifikanzniveau entspricht (Bühner & Ziegler, 2017). In der vorliegenden Arbeit wurden daher bei mehreren paarweisen t-Tests stets die ermittelten *p*-Werte mit der Anzahl der durchgeführten Tests multipliziert und so die Wahrscheinlichkeit des Fehlers 1. Art entsprechend der Bonferroni-Korrektur angepasst ($p < \frac{\alpha_{Gesamt}}{m} \Leftrightarrow p \cdot m < \alpha_{Gesamt}$).

Voranalysen

Bevor parametrische Methoden zum Mittelwertvergleich verwendet werden, muss die Gültigkeit der Voraussetzungen der parametrischen Tests geprüft werden. Deshalb wurden die Daten stets entsprechenden Voranalysen unterzogen. Zur Überprüfung der Normalverteilungsannahme wurde der Shapiro-Wilk-Test berechnet, welcher für Stichproben mit $N \leq 50$ gut geeignet ist und eine hohe Teststärke aufweist (Yap & Sim, 2011). Zusätzlich wurde die Normalverteilung mit Hilfe von Quantil-Quantil-Diagrammen (Q-Q-Plots) grafisch überprüft. Die Sphärizität kann mit dem Mauchly-Test überprüft werden (Field, Miles & Field, 2013). Bei diesen statistischen Tests spricht jeweils ein nicht signifikantes Ergebnis dafür, dass die Population die untersuchte Voraussetzung erfüllt. Die verwendeten Befehle „shapiro.test“, „qqnorm“ sowie „qqline“ stammen jeweils aus dem Paket „stats“ (R Core Team, 2021). Das Ergebnis des Mauchly-Tests für Sphärizität wird bei Verwendung der Funktion „ezANOVA“ gemeinsam den restlichen statistischen Kennwerten ausgegeben (Field et al., 2013).

Nicht-parametrische Tests

Zeigen die Voranalysen, dass bestimmte Voraussetzungen in der vorliegenden Datenstruktur bzw. der zugehörigen Population nicht gegeben sind, so sollten nicht-parametrische Signifikanztests herangezogen werden (Field et al., 2013). Die Tabelle 4-19 zeigt die in dieser Studie verwendeten nicht-parametrischen Alternativen.

Tabelle 4-19: Übersicht zu den verwendeten parametrischen und nicht parametrischen Verfahren

Parametrisches Verfahren	Nonparametrische Alternative
t-Test für abhängige Stichproben	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test
ANOVA mit Messwiederholung	Friedman-Test

Sowohl der t-Tests als auch die Varianzanalyse sind gegenüber kleiner Abweichungen von der Normalverteilungsannahme bei gleichzeitiger Erfüllung der anderen Voraussetzungen robust (Berkovits, Hancock & Nevitt, 2000; Harwell, Rubinstein, Hayes & Olds, 1992; Weiß, 2005). Weisen die Voranalysen auf eine nicht-normalverteilte Datenstruktur hin, kamen aufgrund dieser Robustheit dennoch parametrische Verfahren zur Anwendung. Zusätzlich wurden dann zur Absicherung der Ergebnisse nicht-parametrische Tests gerechnet. Nur wenn das nicht-parametrische Verfahren ebenfalls auf ein signifikantes Ergebnis hinwies, wurden die Ergebnisse als gesichert interpretiert. Für den Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test wurde die Funktion „wilcox.test“ für den Friedman-Test die Funktion „friedman.test“ aus dem Paket „stats“ verwendet (R Core Team, 2021).

Effektstärke

Die Effektstärke gibt Aufschluss über die praktische Relevanz eines Treatments (Leonhart, 2008). „Effektstärken stellen geschätzte standardisierte Unterschiede zweier Populationsmittelwerte dar“ (Bühner & Ziegler, 2017, S. 206). Diese Standardisierung geschieht unter Zuhilfenahme der geschätzten Standardabweichung (Bühner & Ziegler, 2017) und macht einen Vergleich über verschiedene Gruppen, Messinstrumente oder Treatments möglich (Leonhart, 2008). Je nach statistischem Test können verschiedene Maße der Effektstärke herangezogen werden. Diese lassen sich hinsichtlich ihrer Größe wie folgt einteilen (Cohen, 1988, 1992).

Tabelle 4-20: Verwendete Effektstärkemaße und ihre Interpretation

statistischer Test	Koeffizient	kleiner Effekt	mittlerer Effekt	großer Effekt
t-Test für abhängige Stichproben	d	0.2	0.5	0.8
Wilcoxon-Test	r_w	0.10	0.30	0.50
ANOVA mit Messwiederholung	η^2	0.01	0.06	0.14
Friedman-Test	w	0.10	0.30	0.50

In Tabelle 4-21 werden die unterschiedlichen Pakete, Formeln und Funktionen berichtet, welche zur Berechnung der verschiedenen Effektstärkemaße in R herangezogen wurden.

Tabelle 4-21: Verwendete Funktionen / Formeln und Pakete zur Effektstärkeberechnung

Koeffizient	Funktion / Formel	Paket	Quelle
d	cohensD	„lsr“	Navarro (2015)
r_w	wilcoxonPairedR	„rcompanion“	Mangiafico (2021)
η^2	ezANOVA	„ez“	Lawrence (2016)
w	$w = \sqrt{\frac{\chi_R^2}{n}}$	„stats“	R Core Team (2021) Bühner und Ziegler (2017)

Korrelationen

Zur Überprüfung von Zusammenhangshypothesen im Rahmen der Forschungsfrage 5 werden in dieser Arbeit u. a. bivariate Korrelationen berechnet. Dazu wird bei normalverteilten Daten der Koeffizient r nach Pearson (Produkt-Moment-Korrelation) herangezogen. Sind die parametrischen Voraussetzungen nicht erfüllt (nicht normalverteilte Daten), so wird der Koeffizient r_s nach Spearman (Spearmans rho) berechnet (vgl. Field et al., 2013). In beiden Fällen nehmen die Koeffizienten Werte zwischen -1 und 1 an, wobei 1 für einen perfekten positiven, -1 für einen perfekten negativen und 0 für keinen linearen Zusammenhang stehen. Zur Interpretation der errechneten Koeffizienten werden die in Tabelle 4-22 dargestellten Wertebereiche basierend auf Cohen (1988) herangezogen (Bühner & Ziegler, 2017, S. 637). Im Ergebnisbericht wird zusätzlich der jeweilige *p*-Wert angegeben. Dieser sagt aus, ob sich die errechnete Korrelation statistisch signifikant von 0 unterscheidet.

Tabelle 4-22: Wertebereiche und Interpretation von Korrelationskoeffizienten (Bühner & Ziegler, 2017)

Wertebereich	Interpretation
$0.10 \leq r \leq 0.30$	geringe bis moderate Korrelation
$0.30 \leq r \leq 0.50$	moderate bis große Korrelation

Lineare gemischte Regressionsmodelle

Um den Einfluss bestimmter Kovariaten auf die experimentelle Planungskompetenz untersuchen zu können (Forschungsfrage 5), wird in dieser Arbeit auf lineare gemischte Regressionsmodelle zurückgegriffen. Im Vergleich zu einer ANOVA oder einer linearen Regression besitzt diese Vorgehensweise eine höhere Teststärke und weniger strenge Voraussetzungen (vgl. Hilbert, Stadler, Lindl, Naumann & Bühner, 2019). Lineare gemischte Modelle (LMM) eignen sich für die Analyse von Daten, die verschiedene Ebenen (individuelle Proband*in = Ebene 1, Gruppenzugehörigkeit = Ebene 2) enthalten. Insbesondere kann in einem Design mit Messwiederholung jede Person als Einheit der Ebene 2 gesehen werden, womit sich diese Methode auch für die vorliegende Untersuchung eignet (Hilbert et al., 2019). Um LMMs zu berechnen, wurde das Paket „lme4“ (Bates, Mächler, Bolker & Walker, 2015) verwendet. Zur Berechnung der zughörigen *p*-Werte wurde das Paket „lmerTest“ (Kuznetsova, Brockhoff & Christensen, 2017) genutzt. Die *p*-Werte zeigen an, ob die jeweilige Variable einen signifikanten Einfluss auf die abhängige Variable hat. Die Regressionskoeffizienten deuten auf die Richtung und die Größe

des Zusammenhangs hin. Ein Maß für die Güte des LMM ist der Determinationskoeffizient R^2. Dieser sagt aus, wie viel Prozent der beobachteten Varianz der abhängigen Variable durch das Modell aufgeklärt werden kann (Bühner & Ziegler, 2017). Für gemischte Modelle können die Koeffizienten Marginal R^2 (nur fixierte Effekte) und Conditional R^2 (fixierte und zufällige Effekte) berechnet werden (Nakagawa & Schielzeth, 2013). Bei den fixierten Effekten (fixed effects) handelt es sich um die Einflüsse der unabhängigen Variablen bzw. Prädiktorvariablen auf die abhängige Variable. Die zufälligen Effekte (random effects) berücksichtigen die individuellen Unterschiede der Proband*innen zum ersten Messzeitpunkt. Die R^2-Koeffizienten wurden mit Hilfe der Funktion „r.squaredGLMM“ aus dem Paket „MuMIn“ (Barton, 2020) ausgegeben. Um die Güte konkurrierender Modelle miteinander vergleichen zu können, wurde das „Bayesian Information Criterion“ (= BIC) aus dem Paket „lme4“ herangezogen.

5 Ergebnisse der Pilotstudie

Die Pilotstudie, an der insgesamt 17 Studierende teilnahmen, diente in erster Linie dazu, die Konzeption des chemiedidaktischen Hauptseminars und des entwickelten Tests zur experimentellen Planungskompetenz zu erproben. Darüber hinaus wurden die hier gewonnenen Daten dazu verwendet, das Kodiermanual zur Erfassung der experimentellen Planungskompetenz zu entwickeln. Aufgrund der eher geringen Stichprobengröße liefern die im Folgenden berichteten Ergebnisse lediglich Hinweise auf die Wirksamkeit des Seminarkonzepts. Die abschließende Bewertung der Forschungsfragen und Hypothesen geschieht erst anhand der Daten der Hauptstudie, welche in Kapitel 6 präsentiert werden.

5.1 Stichprobe und Kontrollvariablen

An den beiden parallelen Seminaren im Wintersemester 2018/19 nahmen mit knapp 65 % mehr Studentinnen als Studenten teil. Über zwei Drittel der Stichprobe studierte das Lehramt an Gymnasien. Im Schnitt waren die Studierenden knapp 22 Jahre alt und befanden sich im 6. Fachsemester. Am häufigsten traten die Fächerkombination Chemie-Mathematik und Chemie-Biologie auf. Hinsichtlich der eigenen Unterrichtserfahrung ist die Stichprobe sehr heterogen. An der Universität Regensburg müssen die Studierenden noch an einem zweiten chemiedidaktischen Hauptseminar teilnehmen. In diesem planen die Studierenden Unterrichtsstunden, welche sie vor Schülerinnen und Schülern durchführen. Anschließend werden diese Unterrichtsversuche reflektiert, überarbeitet und nochmals durchgeführt. Knapp die Hälfte der Proband*innen der Pilotstudie nahmen zuvor an diesem Seminar teil. Detailliertere Informationen zur Stichprobe sind in Tabelle 5-1 dargestellt.

Tabelle 5-1: Persönliche Angaben der Studierenden – Pilotstudie

Merkmal	**Ausprägung in der Stichprobe**
Teilnehmer*innen	17
Geschlechterverhältnis	Weiblich: 64.70 % Männlich: 35.30 %
Alter	*M* = 21.82 Jahre; *SD* = 2.16; *Min* = 20; *Max* = 27
Fachsemester	*M* = 5.94; *SD* = 0.67; *Min* = 3; *Max* = 11
Schulform	Gymnasium: 70.60 % Realschule: 29.40 %
Abiturnote	*M* = 1.90; *SD* = 0.67; *Min* = 1; *Max* = 3
Fächerkombination	Chemie-Biologie: 47.06 % Chemie-Mathematik: 47.06 % Chemie-Physik: 5.88 %

Bewertung der Qualität der Hochschulausbildung anhand von Schulnoten	fachliche Ausbildung: *M* = 2.18; *SD* = 1.01, *Min* = 1, *Max* = 5 fachdidaktische Ausbildung: *M* = 2.59; *SD* = 1.18, *Min* = 1, *Max* = 6 psych. / päd. Ausbildung: *M* = 3.18; *SD* = 1.01, *Min* = 1, *Max* = 5
Zweites chemiedidaktisches Pflichtseminar belegt	Nein: 52.90 % Zuvor: 47.10 %
Gehaltene Unterrichtsstunden	*M* = 15,47; *SD* = 13,89; *Min* = 1, *Max* = 60
Durchgehend belegte Oberstufenfächer	Chemie: 35,30 % Chemie, Biologie: 35,30 % Chemie, Physik: 11,80 % Biologie: 11,80 % Biologie, Physik: 5,80 %

Zielorientierungen

Im Fragebogen wurden darüber hinaus die Zielorientierungen erhoben, welche bei den Studierenden in ihrem Studium vorherrschen. Die Studierenden gaben hier ihre persönliche Einstellung anhand einer fünfstufigen Likert-Skala von „sehr zutreffend“ (= 1) bis „sehr unzutreffend“ (= 5) an. Geringere Werte im Fragebogen sprechen damit für eine stärkere Zustimmung und damit für eine positivere Ausprägung. Für die aus 16 Items bestehende Gesamtskala konnte eine angemessene interne Konsistenz von Cronbachs Alpha von $\alpha = .73$ berechnet werden.

Tabelle 5-2: Deskriptive Statistik Zielorientierungen – Pilotstudie

Messzeitpunkt	***N***	***M***	***SD***	***Min.***	***Max.***
Pre-Test	17	4.04	0.40	3.44	4.94
Post-Test	17	4.22	0.33	3.71	4.88

Fachspezifische Überzeugungen

Der dritte Teil des Fragebogens diente der Erfassung der fachspezifischen Überzeugungen der Studierenden. Der Fragenbogen umfasst insgesamt 39 Items zu den Subskalen Chemie als Wissenschaft, Lehren von Chemie in der Schule und Lernen von Chemie in der Schule. Die Items wurden ebenfalls auf einer fünfstufigen Likert-Skala dahingehend eingestuft, inwiefern diese auf die Studierenden selbst zutreffen. Ein geringerer Wert bedeutet demnach eine höhere Zustimmung.
Aufgrund geringer interner Konsistenzen der Subskalen, wurden diese nicht separat, sondern als Gesamtskala ausgewertet. Für die Gesamtskala ergibt sich eine niedrige Reliabilität von $\alpha = .56$. Für eine Kontrollvariable kann diese als gerade noch akzeptabel betrachtet werden (vgl. Rost, 2013).

Tabelle 5-3: Deskriptive Statistik Fachspezifische Überzeugungen – Pilotstudie

Messzeitpunkt	*N*	*M*	*SD*	*Min.*	*Max.*
Pre-Test	16	3.66	0.28	3.05	4.10
Post-Test	16	3.75	0.21	3.33	4.18

5.2 Test zum experimentell-fachdidaktischen Wissen

Nachdem alle Paarvergleiche (Relationen), die eine Trennschärfe unter .15 besitzen, entfernt wurden, verblieben noch 26 Paarvergleiche, die zur Berechnung des Score-Wertes herangezogen wurden. Der Test weißt mit einem Cronbachs Alpha von $\alpha = .84$ eine gute interne Konsistenz auf und kann daher als reliabel betrachtet werden. In Tabelle 5-4 sind die deskriptiven Daten zu den erreichten Score-Werten dargestellt.

Tabelle 5-4: Übersicht deskriptive Statistik experimentell-fachdidaktisches Wissen Pilotstudie

Messzeitpunkt	*N*	*M*	*Median*	*SD*	*Min.*	*Max.*
Pre-Test	17	71.81	76.24	12.24	47.52	87.13
Post-Test	17	76.53	80.20	18.66	35.64	92.08

Es zeigt sich, dass die Studierenden im Post-Test durchschnittlich um 4.72 Prozent-Punkte ($SD = 18.03$) besser abschnitten. Bei genauerer Analyse der Daten lässt sich feststellen, dass eine Person im Post-Test mehr als 50 Score-Punkte weniger erreichte als im Pre-Test (Abbildung 5-1). Diese Person erreichte zum ersten Messzeitpunkt den höchsten und zum zweiten Messzeitpunkt den niedrigsten Score-Wert der gesamten Stichprobe. Dies entspricht mehr als der zweieinhalbfachen Standardabweichungen der Differenzen. Aufgrund dessen wurde diese Person als Ausreißer betrachtet und für die weiterführenden Analysen aus der Stichprobe entfernt.

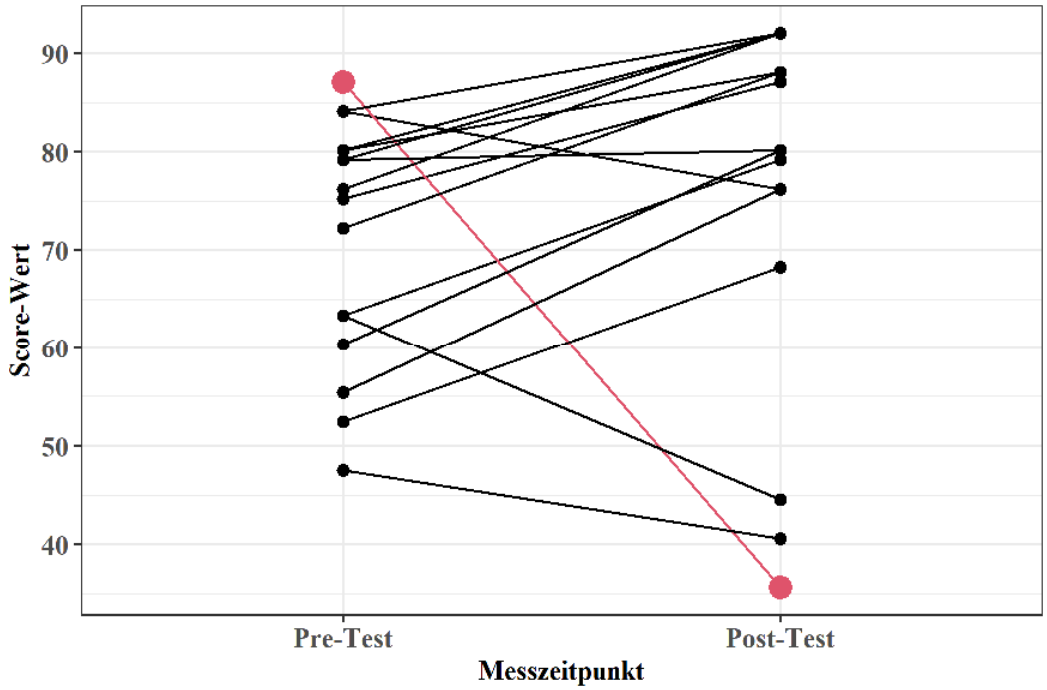


Abbildung 5-1: gepaarte Messwerte Pre-Post-Vergleich – Pilotstudie

Da die Differenz der Ergebnisse nicht normalverteilt ist, wurde für den Pre-Post-Vergleich ergänzend zum t-Test für abhängige Stichproben der Wilcoxon-Test als nicht-parametrischer Test gerechnet. Bezogen auf alle 17 Probanden wird nur der Wilcoxon-Test signifikant mit mittlerer Effektstärke (V = 115.5, $p < .05$, r_w = -0.45). Nach Ausschluss des Ausreißers ergibt sich für beide Tests ein signifikanter Zuwachs im experimentell-fachdidaktischen Wissen der Studierenden ($t(15) = 2.97$; $p < 0.01$; V = 115.5, $p < 0.01$). Der Pre-Post-Vergleich weist dann eine mittlere bis hohe Effektstärke ($d = 0.74$; r_w = - .62) und eine mittlere Differenz von 8.23 Score-Punkten auf (vgl. Abbildung 5-2).

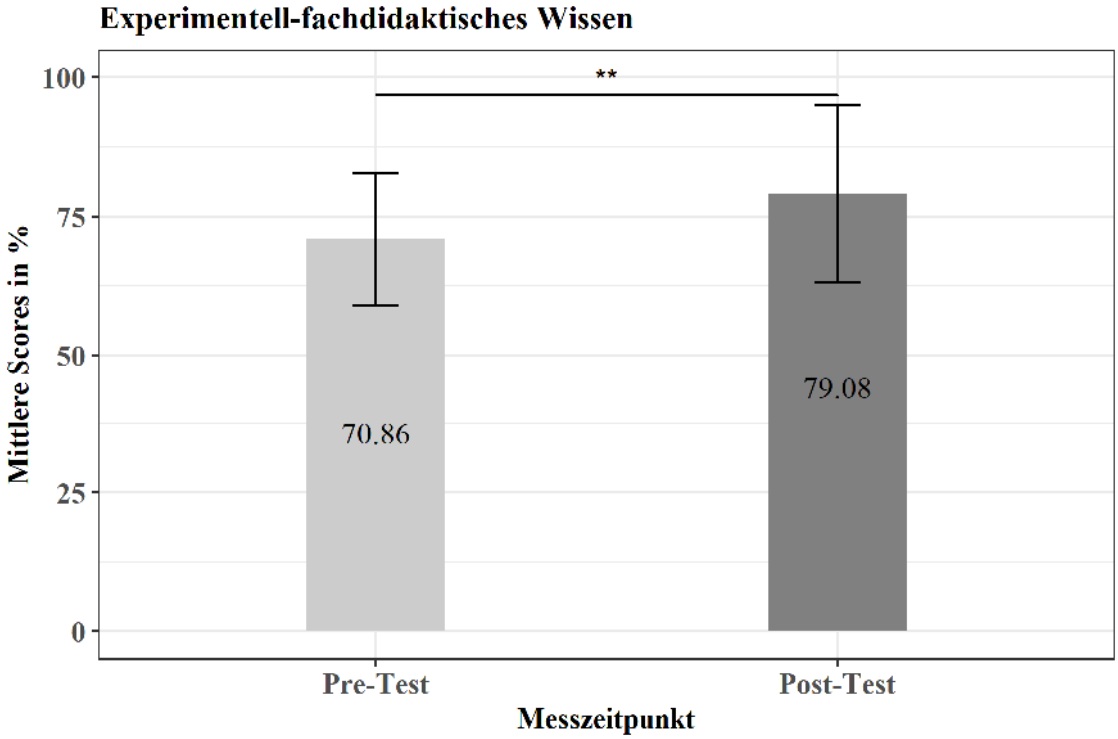


Abbildung 5-2: Mittlere Scores experimentell-fachdidaktisches Wissen – Pilotstudie

5.3 Selbstwirksamkeitserwartung

Der Fragebogen zu den domänenspezifischen Selbstwirksamkeitserwartungen enthält insgesamt 22 Items zu den Subskalen *Planung von Experimenten*, *Durchführung von Experimenten*, *Didaktische Rekonstruktion unterrichtsrelevanter Inhalte* sowie der *Umsetzung der Didaktischen Rekonstruktion im Unterricht*. Aufgrund der thematischen Relevanz werden neben der Gesamtskala auch die Entwicklungen hinsichtlich der Subskalen *Planung von Experimenten* und *Durchführung von Experimenten* ausgewertet. Die Studierenden gaben auf einer fünfstufigen Likert-Skala von „sehr zutreffend“ (= 1) bis „sehr unzutreffend“ (= 5) an, inwiefern sie dem jeweiligen Item zustimmen. Für die Auswertungen wurden die Rohdaten umgepolt. Ein höherer Wert deutet daher auf eine höhere Ausprägung der Selbstwirksamkeitserwartung hin. Die Gesamtskala sowie drei der vier Subskalen weisen jeweils gute bis sehr gute interne Konsistenzen auf und können daher als reliabel betrachtet werden (Tabelle 5-5). Die Subskala Selbstwirksamkeitserwartung bezüglich der Planung von Experimenten weist mit einem Cronbachs Alpha von $\alpha = .57$ eine grenzwertige interne Konsistenz auf. Die Ergebnisse hinsichtlich dieser Subskala müssen daher vorsichtig interpretiert werden. In Tabelle 5-6 bis Tabelle 5-8 werden die deskriptiven Daten in Bezug auf die Gesamtskala sowie hinsichtlich der beiden Subskalen *Planung* bzw. *Durchführung von Experimenten* dargestellt.

Tabelle 5-5: Übersicht interne Konsistenzen – Selbstwirksamkeitserwartung – Pilotstudie

Selbstwirksamkeitserwartung bezüglich der …	Cronbachs Alpha	Anzahl Items
… Gesamtskala	.93	22
… Durchführung von Experimenten	.79	4
… Planung von Experimenten	.57	5
… Didaktischen Rekonstruktion unterrichtsrelevanter Inhalte	.83	8
… Umsetzung der Didaktischen Rekonstruktion im Unterricht	.76	5

Tabelle 5-6: Selbstwirksamkeitserwartungen Gesamtskala – Pilotstudie

Messzeitpunkt	*N*	*M*	*SD*	*Min.*	*Max.*
Pre-Test	17	3.01	0.53	1.64	3.95
Post-Test	17	3.53	0.45	3.05	4.82

Hinweis: N = Anzahl Proband*innen; *M* = arithmetisches Mittel; *SD* = Standardabweichung; *Min.* = Minimum; *Max.* = Maximum

Tabelle 5-7: Selbstwirksamkeitserwartungen Subskala Durchführung von Experimenten – Pilotstudie

Messzeitpunkt	*N*	*M*	*SD*	*Min.*	*Max.*
Pre-Test	17	2.97	0.45	2.00	3.75
Post-Test	17	3.50	0.54	3.00	5.00

Tabelle 5-8: Selbstwirksamkeitserwartung Subskala Planung von Experimenten – Pilotstudie

Messzeitpunkt	*N*	*M*	*SD*	*Min.*	*Max.*
Pre-Test	17	2.74	0.70	1.20	3.80
Post-Test	17	3.46	0.41	2.80	4.80

In allen drei betrachten Skalen lässt sich eine Zunahme des Skalenmittelwerts beobachten. Um diese Mittelwertsunterschiede auf ihre Signifikanz hin zu testen, wurden t-Tests für abhängige Stichproben eingesetzt. Da die Differenz zwischen den beiden Messzeitpunkten bezüglich der Subskala *Durchführung von Experimenten* nicht normalverteilt ist, wurde ergänzend zum t-Test für abhängige Stichproben der Wilcoxon-Test herangezogen. Sowohl für die Gesamtskala als auch für die beiden herangezogenen Subskalen ergeben sich zwischen den beiden Messzeitpunkten (höchst-)signifikante Mittelwertsunterschiede mit hohen Effektstärken (siehe Tabelle 5-9 und Abbildung 5-3). Der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bestätigt das Ergebnis für die Subskala *Durchführung von Experimenten* ($V = 105$, $p < .001$, $r_w = - .81$).

Tabelle 5-9: Übersicht Inferenzstatistik Selbstwirksamkeitserwartungen – Pilotstudie

Selbstwirksamkeitserwartung bezüglich der …	***N***	***t***	***df***	***p***	***d***
… Gesamtskala	17	4.50	16	< .001	1.09
… Durchführung von Experimenten	17	4.37	16	< .001	1.06
… Planung von Experimenten	17	4.86	16	< .001	1.18

Hinweis: N = Anzahl der Proband*innen; *t* = *t*-Wert; *df* = Freiheitsgrade; *p* = Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art; *d* = Effektstärke

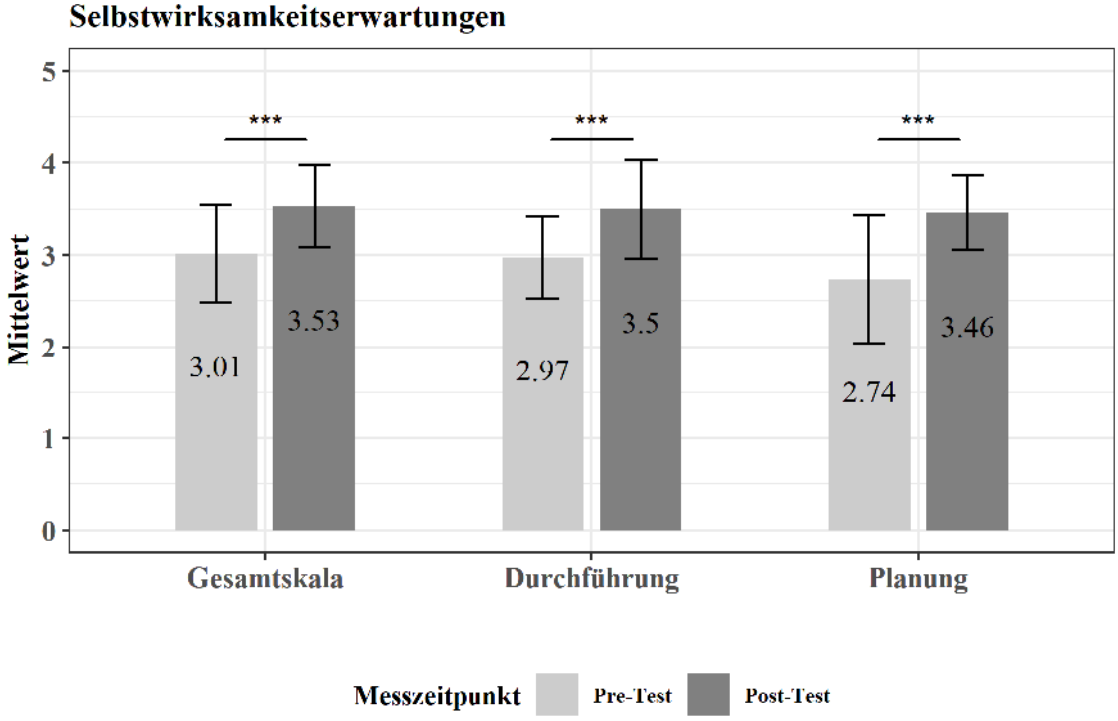


Abbildung 5-3: Selbstwirksamkeitserwartungen – Gesamt- & Subskalen Durchführung und Planung von Experimenten

5.4 Test zur experimentellen Planungskompetenz

Die hier berichteten Daten beziehen sich auf die acht Personen, deren schriftliche Dokumente im Rahmen der Prüfung der Intercoder-Reliabilität analysiert wurden. Dabei werden die Ergebnisse des experimentellen Planungskompetenztests des Pre- und Post-Messzeitpunkts sowie die erreichten Score-Werte der beiden Entwürfe, die im Verlauf des Seminars während des zweiten Messzeitpunkts (MZP Y) erhoben wurden, berichtet. Wie in Kapitel 4.4.4 bereits beschrieben, ergaben sich für die Kodierungen aller drei Kodiererinnen eine Intercoder-Reliabilität von Krippendorffs $\alpha = .79$ und eine mittlere prozentuale Übereinstimmung von 73.7 %. Diese Werte können als akzeptabel bis gut angesehen werden. Die hier berichteten Score-Werte wurden aus dem arithmetischen Mittel der Score-Werte aller drei Kodiererinnen gebildet. Tabelle 5-10 zeigt die deskriptiven Werte der experimentellen Planungskompetenz zum jeweiligen Messzeitpunkt.

Tabelle 5-10: Deskriptive Statistik experimentelle Planungskompetenz – Pilotstudie

Messzeitpunkt	*N*	*M*	*SD*	*Min.*	*Max.*
Pre-Test	8	36.76	11.74	15.23	53.29
Post-Test	8	49.64	8.43	36.01	61.52
MZP Y.1	8	60.88	10.59	41.98	74.89
MZP Y.2	8	59.65	12.63	42.59	81.18

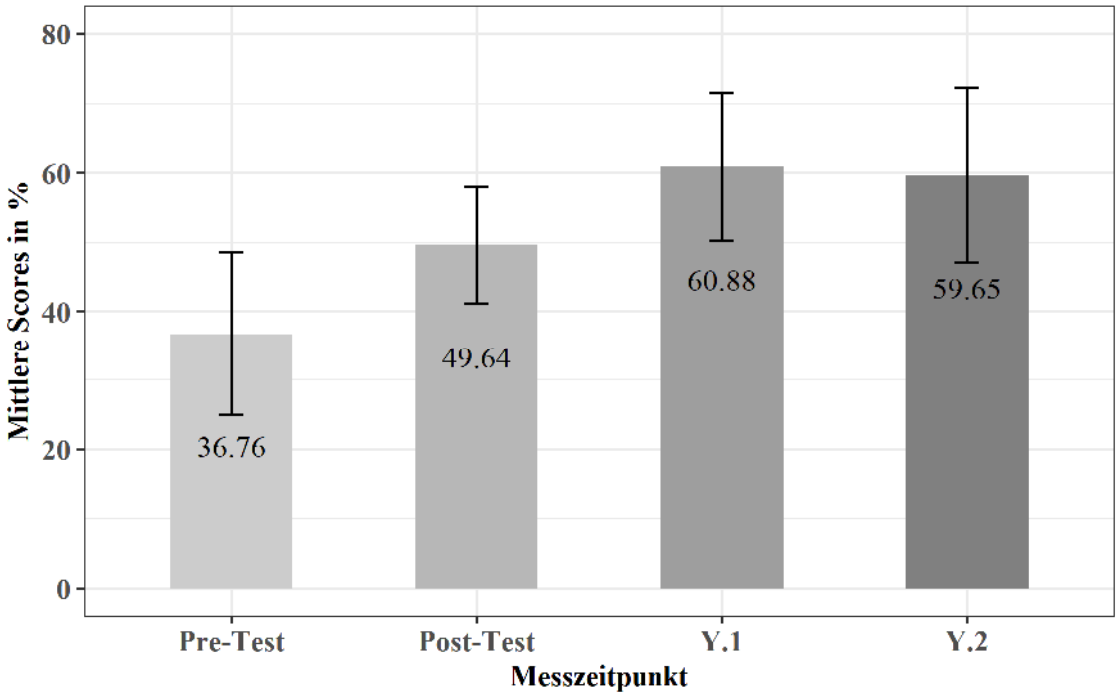


Abbildung 5-4: Score-Werte Planungskompetenztest und Entwürfe – Pilotstudie (Y.1 & Y.2 = Entwürfe zum Messzeitpunkt Y)

Im Schnitt erreichten die Studierenden im Pre-Test 36.76 und im Post-Test 49.64 Score-Punkte. Damit verbesserten sich die Proband*innen durchschnittlich um 12.88 Prozentpunkte. Die geringste Steigerung liegt bei 2.68 und die höchste bei 26.55 Score-Punkten. Eine Verschlechterung lässt sich bei keiner Person feststellen (vgl. Abbildung 5-5). Gleichzeitig verringert sich die Streuung der Daten vom Pre- zum Post-Zeitpunkt. Die Daten hinsichtlich der beiden Entwürfe unterscheiden sich mit einer Differenz von 1.23 Score-Punkten im Durchschnitt kaum voneinander. Im Vergleich zum Post-Test-Ergebnis weisen diese mit einer durchschnittlichen Differenz von 11.24 bzw. 10.01 Score-Punkten höhere Werte auf. Dieser Trend lässt sich bei den meisten Einzelpersonen beobachten.

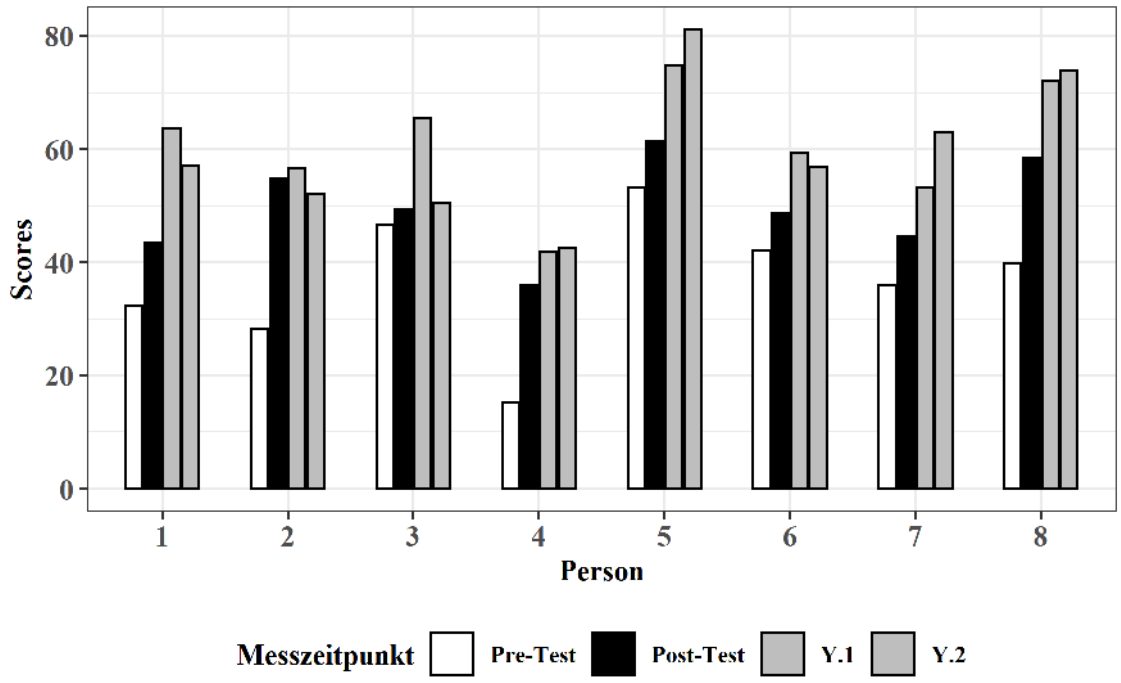


Abbildung 5-5: Experimentelle Planungskompetenz – Pro Person – Pilotstudie (Y.1 & Y.2 = Entwürfe zum Messzeitpunkt Y)

5.5 Weitere Ergebnisse

Da die Kontrollvariablen Zielorientierungen und Fachspezifische Überzeugungen sowohl zum Pre- als auch zum Post-Test-Zeitpunkt erhoben wurden, ist neben der deskriptiven Auswertung der Daten auch eine inferenzstatistische Überprüfung der Mittelwertsunterschiede möglich. Hinsichtlich der Fachspezifischen Überzeugungen findet sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Messzeitpunkten ($t(14)=0.59$, $p = .56$).

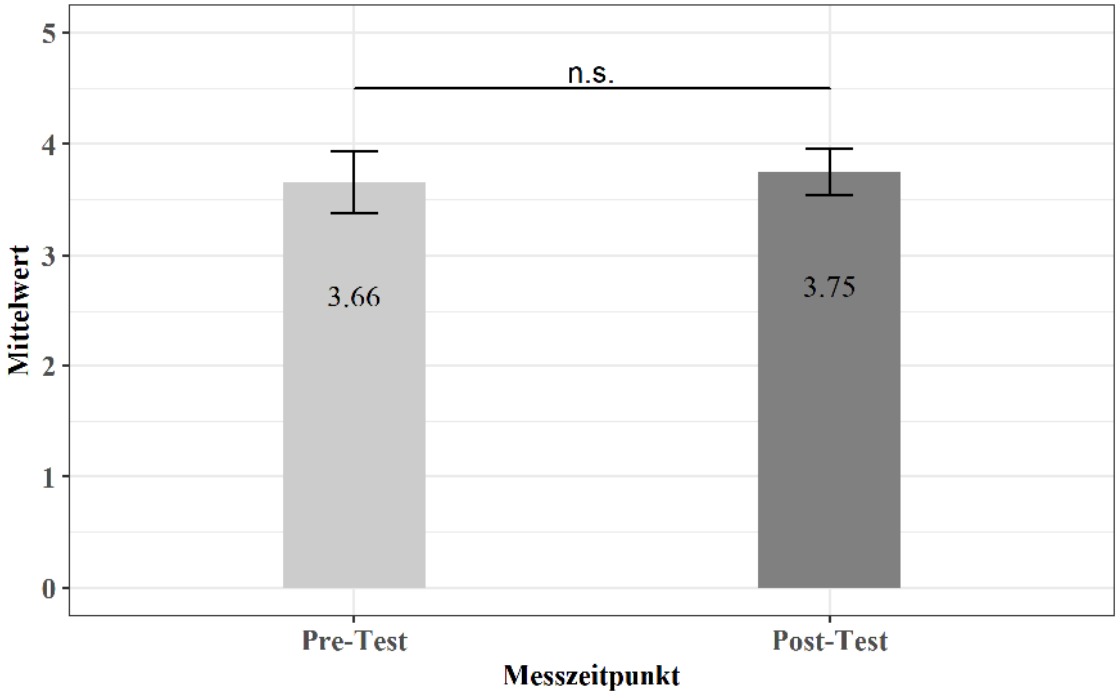


Abbildung 5-6: Pre-Post-Vergleich Fachspezifische Überzeugungen – Pilotstudie

In Bezug auf die selbstbezogenen Zielorientierungen zeigt der t-Test für abhängige Stichproben einen signifikanten mittelstarken Unterschied zwischen den beiden Messzeitpunkten zugunsten des Post-Tests ($t(16) = 2.79$, $p = .013$, $d = 0.68$).

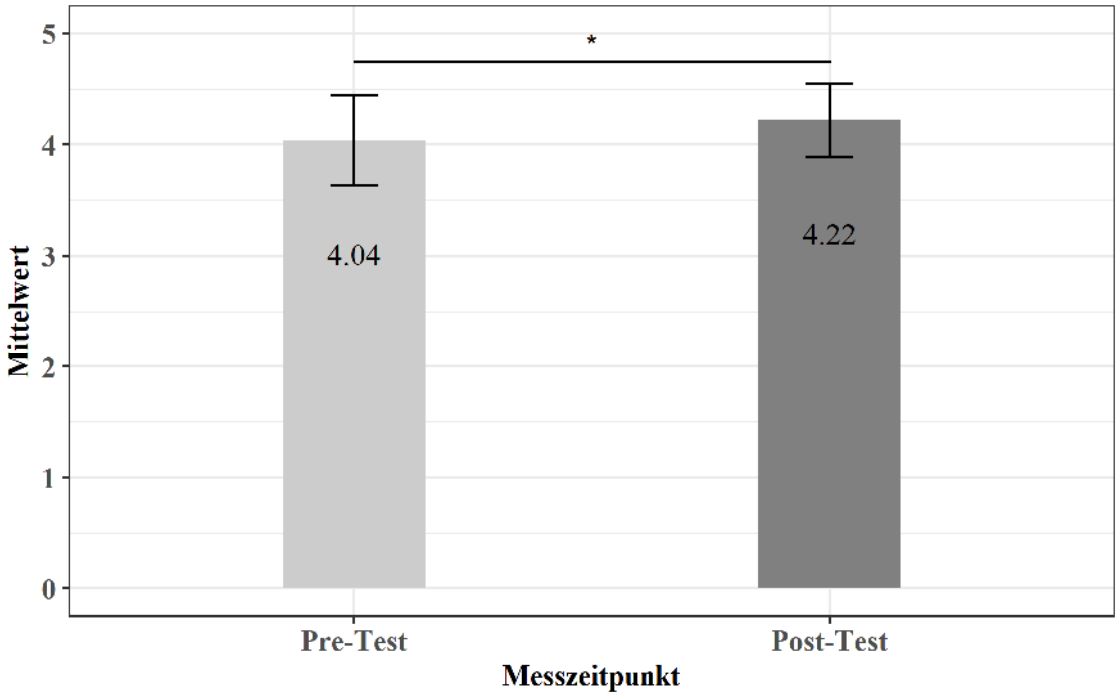


Abbildung 5-7: Pre-Post-Vergleich Zielorientierungen – Pilotstudie

5.6 Evaluation der Pilotstudie

Neben den erhobenen Variablen wurde am Ende der Pilotstudie eine Evaluation durchgeführt. Dadurch sollten Informationen zu Verbesserungsmöglichkeiten hinsichtlich der erstellten Materialien und des Seminarkonzepts aus Sicht der Studierenden gewonnen werden. Auf einer fünfstufigen Likert-Skala von „sehr zutreffend“ (= 1) bis „sehr unzutreffend“ (= 5) wurden u. a. Informationen zum Umgang mit der Strukturierungshilfe und den theoretischen Inhalten erhoben (vgl. Tabelle 5-11 und Tabelle 5-12). Durch offene Antwortformate konnten die Studierenden zusätzliche Anmerkungen zur Strukturierungshilfe und zum Seminar im Allgemeinen formulieren. Vor der Berechnung der Mittelwerte wurden negativ formulierte Items umkodiert. Für die Diagramme zur prozentualen Verteilung wurden die Codes 1 und 2 sowie 4 und 5 jeweils zusammengefasst.

Tabelle 5-11: Deskriptive Statistik Evaluation Strukturierungshilfe – Pilotstudie

Items zur Strukturierungshilfe	***M***	***SD***	***Min.***	***Max.***
I.1 Ich habe die im Seminar vorgestellte Strukturierungshilfe bei der Planung meiner Entwürfe genutzt.	2.71	1.31	1	5
I.2 Die Strukturierungshilfe war für die Planung meiner Entwürfe hilfreich.	2.94	0.85	2	5
I.3 Es fiel mir schwer, mit der Strukturierungshilfe zu arbeiten.	2.94	0.77	2	4
I.4 Die Strukturierungshilfe war zu umfangreich.	2.94	1.34	1	5

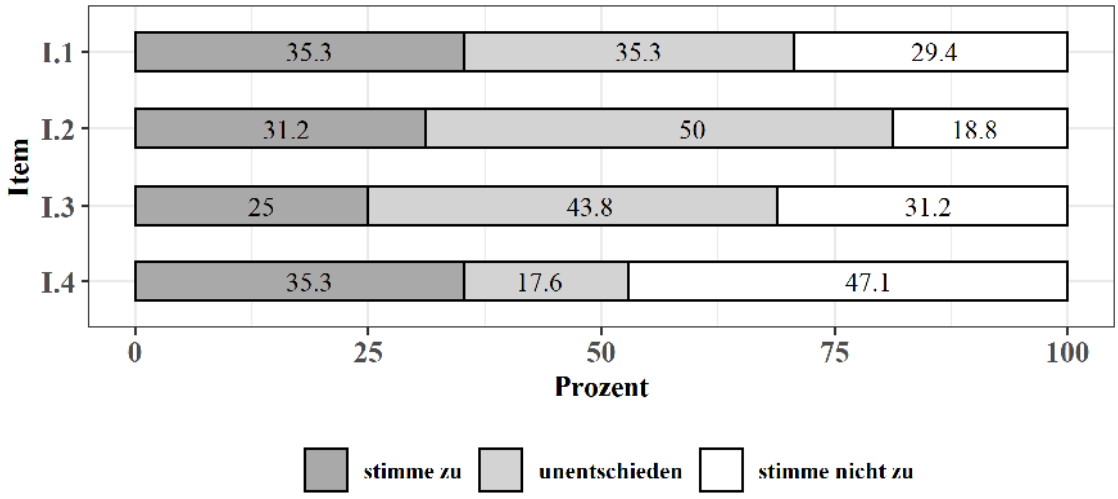


Abbildung 5-8: Prozentuale Verteilung Evaluation Strukturierungshilfe – Pilotstudie

Tabelle 5-12: Deskriptive Statistik Evaluation Theoriephase – Pilotstudie

Items zur Strukturierungshilfe	*M*	*SD*	*Min.*	*Max.*
II.1 Die Inhalte der Theoriephase waren gut strukturiert.	2.18	0.53	1	3
II.2 Ich habe die Inhalte der Theoriephase verstanden.	2.24	0.75	1	4
II.3 Die Konzeptualisierung (Systematisierung) des Begriffs Offenheit war hilfreich.	2.47	0.80	1	4
II.4 Die Theoriephase war für die Planung meiner Entwürfe hilfreich.	2.35	0.93	1	5

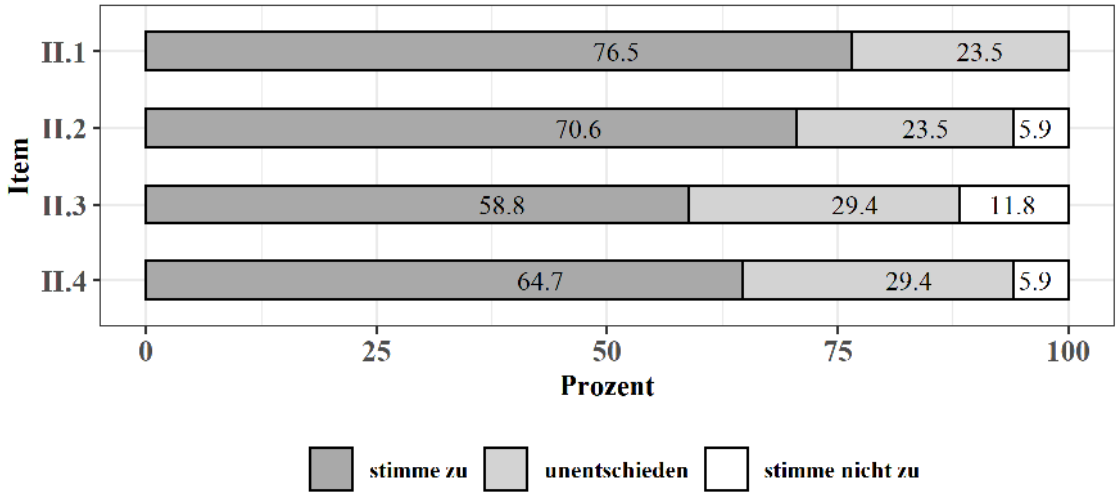


Abbildung 5-9: Prozentuale Verteilung Evaluation Theoriephase – Pilotstudie

Wie die obigen Tabellen und Diagramme zeigen, liegt die durchschnittliche Bewertung der Aussagen in Bezug auf die Strukturierungshilfe stets über 2.5. Dabei gaben knapp 30 % der Studierenden an, die Hilfe wenig bis gar nicht verwendet zu haben. Die Item-Mittelwerte in Bezug auf die Theoriephase liegen durchgehend unter 2.5 und werden damit im Schnitt besser bewertet als die Items zur Strukturierungshilfe. Über zwei Drittel der Studierenden gaben an, dass die Theoriephase hilfreich für die Planung ihrer Entwürfe war. Insgesamt ergeben sich für die beiden Gesamtskalen zur Strukturierungshilfe und zur Theoriephase Mittelwerte von 2.83 (SD = 0.73) bzw. 2.31 (SD = 0.38).

In den offenen Antworten (siehe Kapitel 10.7) merkten die Studierenden beispielsweise an, dass die Strukturierungshilfe „[…] nicht sehr hilfreich bzw. zu kompliziert“ ist. Einzelne Aspekte der Übersicht waren für manche Studierende nicht ganz verständlich. Vermehrt wurden die Theoriefolien als hilfreicher für die Planung der Entwürfe bezeichnet. In Bezug auf das Seminar im Allgemeinen wurden neben organisatorischen Aspekten (Organisation und Klarheit der Einführung) die Geschlossenheit des verwendeten Feedbackbogens kritisiert.

5.7 Konsequenzen für die Hauptstudie

Aufgrund der Ergebnisse und der abschließenden Evaluation der Pilotstudie wurden Teile des Studiendesigns sowie der Seminarkonzeption angepasst. Da keine Veränderungen hinsichtlich der Fachspezifischen Überzeugungen der Studierenden nachweisbar waren (Kapitel 5.5), wurde diese Skala in der Hauptstudie nur noch am Pre-Messzeitpunkt eingesetzt. Zudem fand ab dem Wintersemester 2019/20 eine dritte Erhebung etwa sechs Monate nach Abschluss des Seminars statt, um auch die Langfristigkeit der Lernzuwächse untersuchen zu können. Die signifikanten mittelstarken bis starken Zuwächse im experimentell-fachdidaktischen Wissen sowie hinsichtlich der Selbstwirksamkeitserwartungen deuten bereits auf eine grundsätzliche Wirksamkeit der Intervention hin. Auch die deskriptiven Daten der experimentellen Planungskompetenz geben erste Hinweise auf die Lernwirksamkeit des Seminars. Trotz dieser grundsätzlich positiven Ergebnisse legten mittelmäßige Werte in der abschließenden Evaluation (siehe Kapitel 5.6) die Überarbeitung der Strukturierungshilfe nahe. Die vergleichsweise positiven Bewertungen in Zusammenhang mit der Theoriephase zeigten, dass zwar kleine Anpassungen und Konkretisierungen hinsichtlich der Theoriefolien vorzunehmen waren, die Inhalte im Wesentlichen aber geeignet sind. Die konkreten, nach der Pilotstudie vorgenommenen, Veränderungen in Bezug auf das Seminarkonzept wurden bereits im Kapitel 4.1 an den entsprechenden Stellen thematisiert. In Tabelle 5-13 ist eine Übersicht zu den Änderungen in der Seminarkonzeption abgebildet.

Tabelle 5-13: Übersicht über die Veränderungen nach der Pilotstudie

Betroffene Phase	Änderung

Theoriephase	• Vereinfachung der Planungshilfe
	• Graphische Gestaltung der Theoriefolien
	• Inhaltliche Anpassungen in den Theoriefolien
	  o eigenes Kapitel für die Planungshilfe mit konkretem Beispiel
	  o Abstimmungsmöglichkeiten für Studierende
	• Entwicklung eigener Beispiele mit Variation der Offenheit
	• Arbeitsauftrag zur Offenheit mit Einordnungsraster aus Feedbackbogen kombiniert
	• Einführung eines Musterprotokolls

Praxisphase	• Ergänzung des Feedbackbogens um Platz für offene Anmerkungen • Reduzierung auf Reflexion eines Entwurfs pro Reflexionsphase • Reflexion und Optimierung des jeweils anderen Entwurfs bis Semesterende • Reduzierung der Seminarzeit des Reflexionstermins von 135 auf 90 Minuten

6 Ergebnisse der Hauptstudie

Die Hauptstudie wurde im Sommersemester 2019 mit sieben und im darauffolgenden Wintersemester 2019/20 mit 24 Studierenden durchgeführt. Insgesamt nahmen damit 31 Studierende an der Hauptstudie teil. Um die Langfristigkeit der Lernzuwächse untersuchen zu können, wurde das Pre-Post-Design der vorliegenden Studie ab dem Wintersemester 2019/20 um einen dritten Messzeitpunkt sechs Monate nach Abschluss des Seminars erweitert. Da eine Person an diesem Messzeitpunkt nicht teilnahm, beziehen sich die dahingehenden Auswertungen auf nur 23 der 31 Proband*innen. Ausgehend von der Stichprobenplanung (Kapitel 4.2), welche eine Stichprobengröße von 19 Personen ergab, kann auch diese Teilstichprobe als ausreichend groß angenommen werden. Im folgenden Kapitel folgt die Darstellung der Ergebnisse unter Rückbezug auf die in Kapitel 3 formulierten Forschungsfragen und Hypothesen.

6.1 Stichprobe und Kontrollvariablen

Mit knapp 55 % nahmen etwas mehr Frauen als Männer an der Hauptstudie teil. Durchschnittlich waren die Studierenden 21.5 Jahre alt und studierten im fünften bis sechsten Fachsemester. Mit 93.5 % nahmen fast ausschließlich Studierende des Lehramts an Gymnasien teil, nur insgesamt zwei Studierende studierten das Lehramt an Realschulen. Die häufigsten Fächerkombinationen waren Chemie-Biologie und Chemie-Mathematik. Detailliertere Informationen zur Stichprobe sind in Tabelle 6-1 dargestellt.

Tabelle 6-1: Persönliche Angaben der Studierenden – Hauptstudie

Teilnehmer*innen	31 Teilnehmer
Geschlechterverhältnis	Weiblich: 54.80 % Männlich: 45.20 %
Alter	*M* = 21.52 Jahre; *SD* = 1.03; *Min* = 20; *Max* = 24
Fachsemester	*M* = 5.48; *SD* = 1.36; *Min* = 3; *Max* = 10
Schulform	Gymnasium: 93.5 % Realschule: 6.5 %
Abiturnote	*M* = 2.03; *SD* = 0.46; *Min* = 1.0; *Max* = 2.7
Fächerkombination	Chemie-Biologie: 41.90 % Chemie-Mathematik: 54,80 % Chemie-Mathematik-Physik: 3,30 %

Bewertung der Qualität der Hochschulausbildung anhand von Schulnoten	fachliche Ausbildung: *M* = 2.13; *SD* = 0.67, *Min* = 1, *Max* = 4 fachdidaktische Ausbildung: *M* = 2.16; *SD* = 0.90, *Min* = 1, *Max* = 4 psych. / päd. Ausbildung: *M* = 3.39; *SD* = 0.88, *Min* = 2, *Max* = 5
Zweites chemiedidaktisches Pflichtseminar belegt	Nein: 54.80 % Begleitend: 38.70 % Zuvor: 6.50 %
Gehaltene Unterrichtsstunden	*M* = 9.52; *SD* = 8.53; *Min* = 0, *Max* = 30
Durchgehend belegte Oberstufenfächer	Chemie: 9.70 % Chemie, Biologie: 41.90 % Chemie, Physik: 35.50 % Biologie: 9.70 % Chemie, Biologie, Physik: 3.20 %

Zielorientierungen

Wie bereits im Kapitel 4.3.1 beschrieben, wurden die selbstbezogenen Zielorientierungen mit 16 Items auf einer fünfstufigen Likert-Skala von „sehr zutreffend“ (= 1) bis „sehr unzutreffend“ (= 5) erhoben. Für die Stichprobe der Hauptstudie ergibt sich lediglich ein Cronbachs Alpha von $\alpha = .53$. Dieser Wert muss selbst für eine Kontrollvariable als unakzeptabel betrachtet werden (vgl. Rost, 2013). Etwaige Ergebnisse müssen in diesem Fall sehr vorsichtig interpretiert werden. Die Daten einer Person mussten wegen fehlenden Angaben beim Pre-Test-Zeitpunkt ausgeschlossen werden. Aufgrund der geringen Reliabilität der Skala wird an dieser Stelle auf einen inferenzstatistischen Pre-Post-Vergleich verzichtet.

Tabelle 6-2: Übersicht deskriptive Statistik Zielorientierungen – Hauptstudie

Messzeitpunkt	***N***	***M***	***SD***	***Min.***	***Max.***
Pre-Test	30	3.99	0.26	3.44	4.62
Post-Test	31	3.95	0.27	3.47	4.53

Fachspezifische Überzeugungen

Im dritten Teil des Fragebogens wurden die Fachspezifischen Überzeugungen der Studierenden auf einer fünfstufigen Likert-Skala von „sehr zutreffend“ (= 1) bis „sehr unzutreffend“ (= 5) erhoben. Die Gesamtskala umfasst 39 Items zu den Subskalen *Chemie als Wissenschaft*, *Lehren von Chemie in der Schule* und *Lernen von Chemie in der Schule*.

Eine Änderung der Fachspezifischen Überzeugungen als relativ robuste Einstellungen einer (angehenden) Lehrkraft (Voss et al., 2011) konnte in der Pilotstudie nicht nachgewiesen werden. Aus diesem Grund wurde die Skala zu den fachspezifischen Überzeugungen in der Hauptstudie nur zum Pre-Test-Zeitpunkt eingesetzt. Die internen Konsistenzen wurden daher auf Grundlage der im Pre-Test erhobenen Daten berechnet. Die beiden Subskalen *Chemie als Wissenschaft* sowie *Lehren von Chemie in der Schule* weisen mit $\alpha = .61$ bzw. $\alpha = .68$ noch akzeptable Werte auf. Die Subskala *Lernen von Chemie in der Schule* weist eine nur geringe Reliabilität auf ($\alpha = .29$). Für die Gesamtskala konnte mit einer internen Konsistenz von Cronbachs $\alpha = .75$ eine zufriedenstellende Reliabilität nachgewiesen werden. Aufgrund teilweise geringer interner Konsistenzen wurden die Subskalen nicht getrennt voneinander ausgewertet. Die Studierenden bewerteten die Items durchschnittlich mit 3.77 ($SD = 0.24$, $Min = 3.23$, $Max = 4.28$).

6.2 Ergebnisse zur Entwicklung des experimentell-fachdidaktischen Wissens (Forschungsfrage 1)

Nachdem im Anschluss an die Pilotstudie einige Aspekte des Seminars verändert worden sind, wurden die zur Berechnung der Score-Werte herangezogenen Items für die Paarvergleiche in der Hauptstudie neu ermittelt. Wie bereits in der Pilotstudie wurden alle Relationen mit einer Trennschärfe kleiner .15 entfernt. Die Trennschärfen der 36 verbliebenen Relationen sind in Abbildung 10-25 dargestellt. Das Instrument weist mit einem Cronbachs Alpha von $\alpha = .78$ eine akzeptable interne Konsistenz auf und kann als reliabel betrachtet werden. Insgesamt werden mehr Paarvergleiche als bei der Pilotstudie berücksichtigt, sodass das Konstrukt breiter erfasst wurde. Eine Person der 24 Proband*innen des Wintersemesters 19/20 bearbeitete den Follow-Up-Test nicht, sodass hier nur die Daten von 23 Studierenden ausgewertet werden konnten. In Tabelle 6-3 sind die deskriptiven Daten zum jeweiligen Messzeitpunkt dargestellt.

Tabelle 6-3: Übersicht deskriptive Statistik experimentell-fachdidaktisches Wissen – Hauptstudie

Messzeitpunkte	***N***	***M***	***SD***	***Min.***	***Max.***
Pre-Test	31	61.50	15.51	25.00	91.18
Post-Test	31	70.71	15.05	28.68	94.12
Follow-up-Test	23	66.24	14.98	22.06	94.12

Es zeigt sich, dass die Studierenden vom Pre- zum Post-Test durchschnittlich 10.81 Score-Punkte hinzugewinnen. Die 23 Studierenden, welche am Follow-Up-Test teilnahmen, erreichten sechs Monate nach dem Seminar durchschnittlich 70.79 Score-Punkte und schneiden damit rund 5 Score-Punkte schlechter ab als die Gesamtstichprobe beim Post-Test. Diese Mittelwertsunterschiede wurden auf ihre statistische Signifikanz hin getestet. Der Shapiro-Wilk-Test und die Quantil-Quantil-Diagramme (Abbildung 10-5 bis

Abbildung 10-7) weisen auf eine Normalverteilung der Differenzen zwischen den jeweiligen Messzeitpunkten hin. Deshalb wurden t-Tests für abhängige Stichproben als parametrische Verfahren eingesetzt. Aus Tabelle 6-4 sowie Abbildung 6-1 geht hervor, dass der Mittelwertsunterschied zwischen Pre- und Post-Test (höchst-)signifikant ist und eine mittlere Effektstärke von $d = 0.70$ aufweist. Auch der Mittelwertsunterschied zwischen Pre- und Follow-Up-Test wird signifikant mit mittlerer Effektstärke. Der Unterschied zwischen Post- und Follow-Up-Test ist dagegen nicht statistisch signifikant.

Tabelle 6-4: Übersicht Inferenzstatistik experimentell-fachdidaktisches Wissen – Hauptstudie

Vergleich der MZPs	***N***	***t***	***df***	***p****	***d***
Pre-Post	31	3.92	30	< .001	0.70
Pre-Follow-Up	23	2.51	22	< .05	0.52
Post-Follow-Up	23	0.77	22	= .67	0.16

*Hinweis: p** = Bonferroni korrigierter *p*-Wert

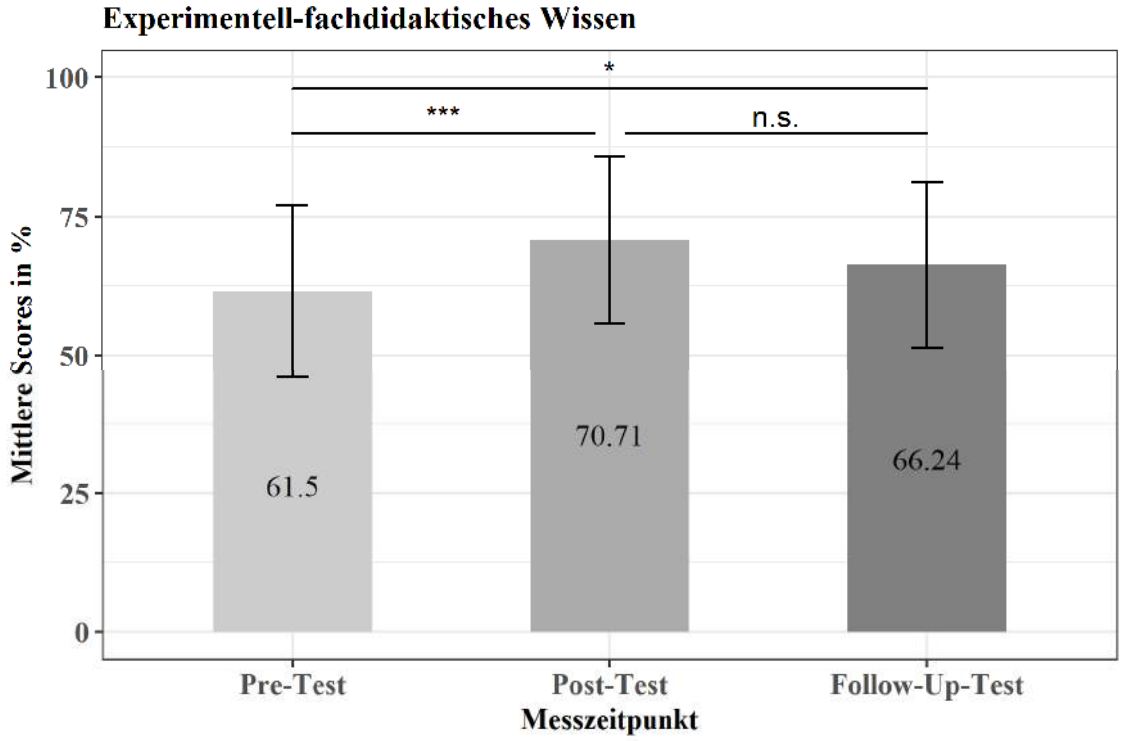


Abbildung 6-1: Pre-Post-Follow-Up-Vergleich – Experimentell-fachdidaktisches Wissen – Hauptstudie

6.3 Ergebnisse zur Entwicklung der domänenspezifischen Selbstwirksamkeitserwartungen (Forschungsfrage 2)

Die Skala zu den domänenspezifischen Selbstwirksamkeitserwartungen wurde für die Hauptstudie um drei Items auf insgesamt 25 Items erweitert. Konkret wurde die Subskala Planung von Experimenten um zwei und die Subskala Durchführung von Experimenten um ein Item ergänzt. Die resultierenden internen Konsistenzen für die vier Subskalen sowie für die Gesamtskala, welche in Tabelle 6-5 berichtet werden, weisen akzeptable Werte auf. Die Skalen können daher als reliabel betrachtet werden.

Tabelle 6-5 Übersicht interne Konsistenzen – Selbstwirksamkeitserwartung – Hauptstudie

Selbstwirksamkeit bezüglich der …	**Cronbachs Alpha**	**Anzahl Items**
… Gesamtskala	.85	25
… Durchführung von Experimenten	.68	5
… Planung von Experimenten	.70	7
… Didaktischen Rekonstruktion unterrichtsrelevanter Inhalte	.72	8
… Umsetzung der Didaktischen Rekonstruktion im Unterricht	.67	5

Neben der Gesamtskala werden zusätzlich die Entwicklungen hinsichtlich der beiden Subskalen Durchführung von Experimenten und Planung von Experimenten berichtet. Ein höherer Wert weist dabei aufgrund der Umpolung der Rohdaten auf eine höhere Ausprägung der Selbstwirksamkeitserwartung hin. Die deskriptiven Daten in Bezug auf die berechneten Mittelwerte der jeweiligen Skalen werden in den Tabellen 12 bis 14 dargestellt:

Tabelle 6-6: Übersicht deskriptive Statistik – Gesamtskala Selbstwirksamkeitserwartungen – Hauptstudie

Messzeitpunkt	***N***	***M***	***SD***	***Min.***	***Max.***
Pre-Test	31	3.17	0.44	2.16	3.92
Post-Test	31	3.61	0.33	3.12	4.40

Tabelle 6-7: Übersicht deskriptive Statistik – Selbstwirksamkeitserwartung – Durchführung von Experimenten – Hauptstudie

Messzeitpunkt	***N***	***M***	***SD***	***Min.***	***Max.***
Pre-Test	31	3.23	0.54	2	4
Post-Test	31	3.64	0.41	2.80	4.40

Tabelle 6-8: Übersicht deskriptive Statistik – Selbstwirksamkeitserwartung – Planung von Experimenten – Hauptstudie

Messzeitpunkt	*N*	*M*	*SD*	*Min.*	*Max.*
Pre-Test	31	2.81	0.51	1.86	3.71
Post-Test	31	3.50	0.45	2.29	4.29

Es lässt sich sowohl für die Gesamtskala als auch für die betrachteten Subskalen *Durchführung* und *Planung von Experimenten* eine Erhöhung des Mittelwerts vom Pre- auf den Post-Test beobachten. Sowohl der Shapiro-Wilk-Test als auch die Quartil-Quartil-Diagramme deuten auf eine Normalverteilung der Differenzen hin. Aus diesem Grund wurden zur Überprüfung der statistischen Signifikanz der Mittelwertsunterschiede t-Tests für abhängige Stichproben verwendet. Wie in Tabelle 6-9 und Abbildung 6-2 ersichtlich, sind die Mittelwertsunterschiede zwischen Pre- und Post-Test in jedem Fall höchstsignifikant und weisen darüber hinaus hohe Effektstärken von $d = 0.93$ bis 1.16 auf.

Tabelle 6-9: Übersicht Inferenzstatistik Selbstwirksamkeitserwartungen – Hauptstudie

Selbstwirksamkeitserwartung bezüglich der …	*N*	*t*	*df*	*p*	*d*
… Gesamtskala	31	6.41	30	< .001	1.15
… Durchführung von Experimenten	31	5.18	30	< .001	0.93
… Planung von Experimenten	31	6.44	30	< .001	1.16

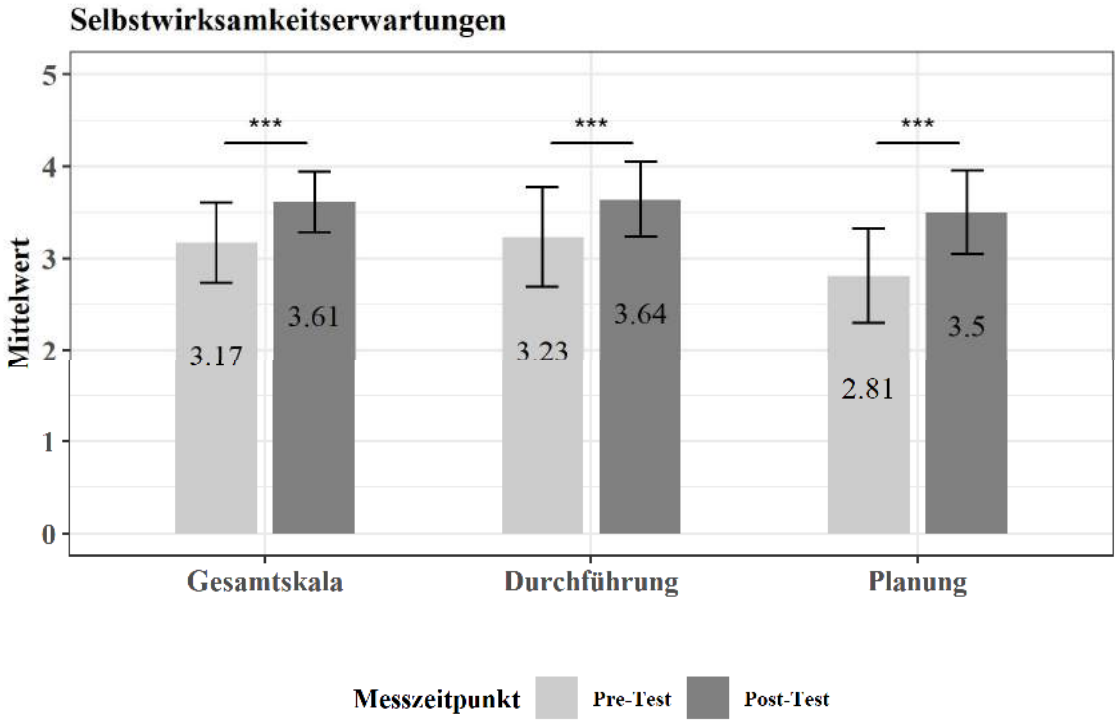


Abbildung 6-2: Selbstwirksamkeitserwartungen – Hauptstudie

6.4 Ergebnisse zur Entwicklung der experimentellen Planungskompetenz (Forschungsfrage 3)

Die im Rahmen des experimentellen Planungskompetenztests verfassten schriftlichen Planungen wurden mit Hilfe des in Kapitel 4.4 vorgestellten Kodiermanuals inhaltsanalytisch ausgewertet. Aus den durch die Kodierung zugewiesenen Merkmalsausprägungen (Codes) wurde ein Gesamt-Score-Wert gebildet (siehe Kapitel 4.5.2). Drei Studienteilnehmer*innen bearbeiteten den Follow-Up-Test nicht, so dass zu diesem Messzeitpunkt nur die Daten von 21 Studierenden in die Auswertungen eingeflossen sind. In Tabelle 6-10 sind die deskriptiven Daten hinsichtlich der ermittelten Score-Werte pro Messzeitpunkt dargestellt.

Tabelle 6-10: Übersicht deskriptive Statistik experimentelle Planungskompetenz – Hauptstudie

Messzeitpunkte	***N***	***M***	***SD***	***Min.***	***Max.***
Pre-Test	24	37.45	9.76	17.31	59.62
Post-Test	24	53.82	10.59	25.00	66.67
Follow-up-Test	21	48.81	10.89	26.28	63.46

Die Studierenden schneiden mit einer mittleren Differenz von 16.37 Score-Punkten im Post-Test besser ab als im Pre-Test. Auch im Follow-Up-Test erreichen die Studierenden mit einer Differenz von 11.36 Prozentpunkten durchschnittlich bessere Ergebnisse als zum ersten Messzeitpunkt. Vom Post- auf den Follow-Up-Test verringert sich der Score-Wert im Mittel um 5.01 Prozentpunkte.

Wie in Abbildung 6-3 und Abbildung 6-4 zu sehen, lässt sich dieser Trend in nahezu allen Einzelkategorien beobachten. Lediglich in den Kategorien 2 und 18 (Fachliche Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler; Generalisierung) lässt sich eine kontinuierliche Verringerung des Mittelwerts vom Pre- zum Follow-Up-Test feststellen. Des Weiteren zeigt sich, dass die Punkte in den Kategorien 4, 8, 9, 12, 13, 14, 15 und 24 (Aktivierung von Vorwissen; Zusätzliche Differenzierung; Begründung des Öffnungsgrades; Differenzierungsgrad; Unterstützungsebenen; Begründung der Unterstützungsmaßnahmen; Fachimmanente Einbettung; Prozessreflexion) im Durchschnitt zu jedem Messzeitpunkt unter 1 bleiben und damit vergleichsweise niedrig ausfallen. Die Studierenden verbessern sich auch in diesen Subkategorien vom Pre- zum Post-Test teilweise deutlich. Einzige Ausnahme stellt Kategorie 24 dar (Prozessreflexion). In dieser geht der Mittelwert zum Post-Test zunächst zurück und steigt erst im Follow-Up-Test wieder an, bleibt insgesamt aber stets auf niedrigem Niveau.

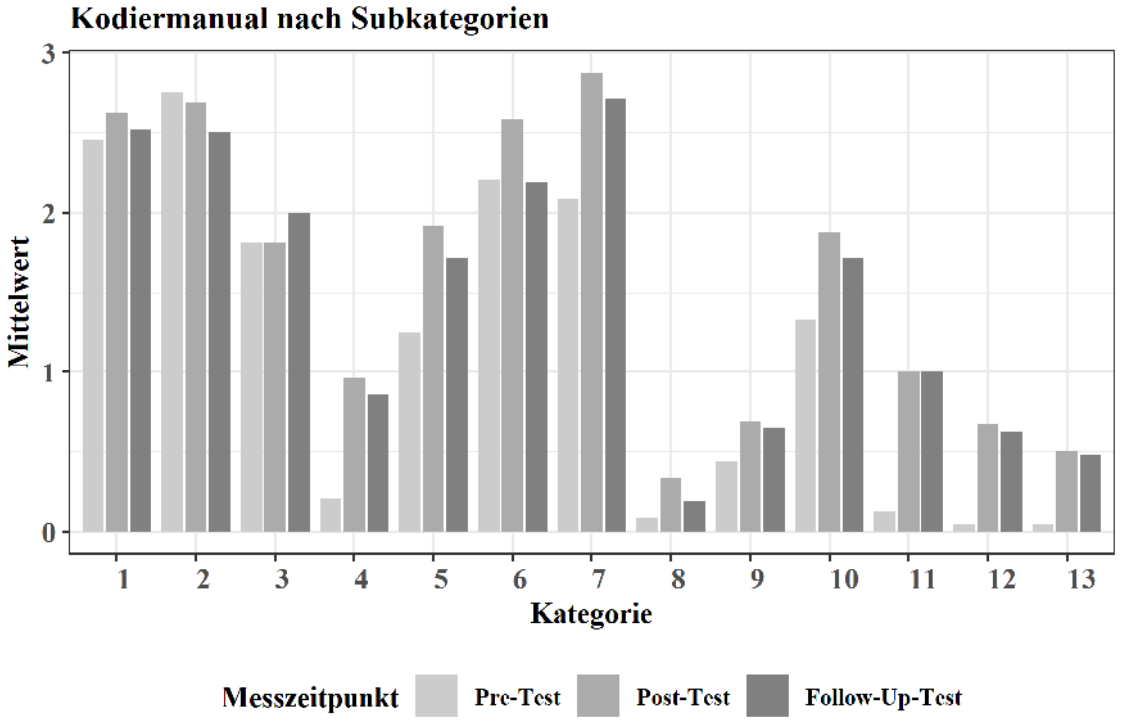


Abbildung 6-3: Entwicklung der Subkategorien 1- 13 – Planungskompetenztest nach Messzeitpunkt – Hauptstudie

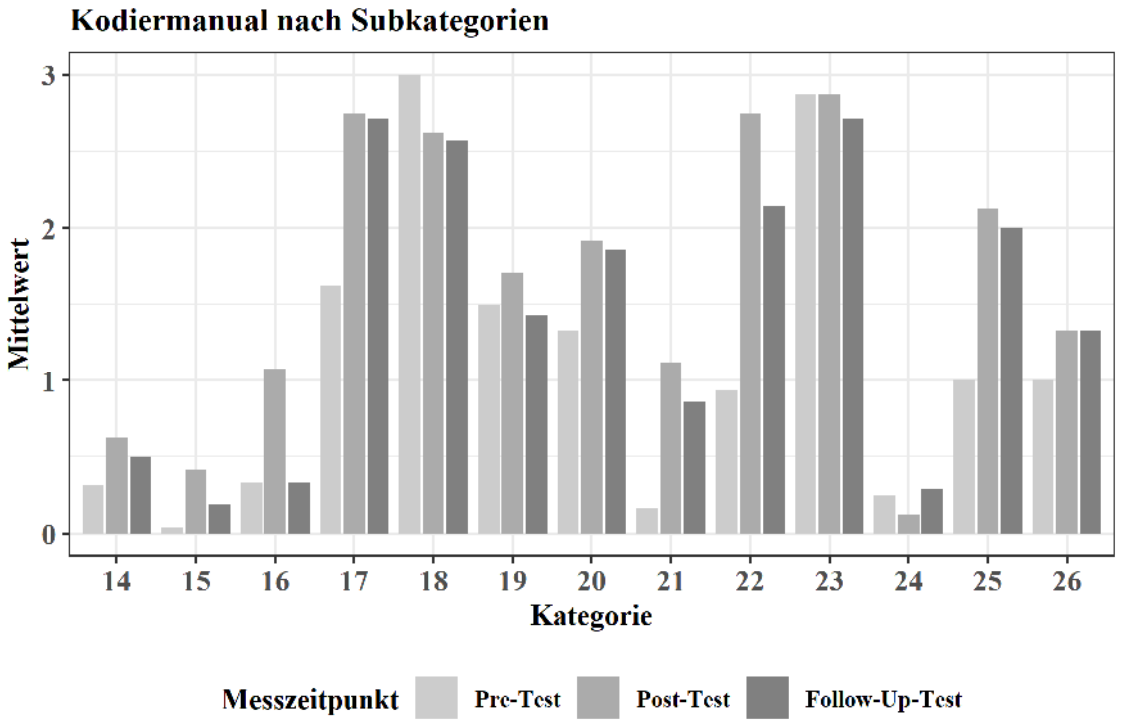


Abbildung 6-4: Entwicklung der Subkategorien 14 - 26 – Planungskompetenztest nach Messzeitpunkt – Hauptstudie

Zur Prüfung der statistischen Signifikanz der Mittelwertsunterschiede im Gesamtscore wurden sowohl parametrische als auch nicht-parametrische Verfahren eingesetzt. Der

Shapiro-Wilk-Test für die Differenz zwischen den Pre- und Post-Test-Ergebnissen weist auf eine fehlende Normalverteilung der Daten hin. Bei diesem Vergleich wurde daher neben dem t-Test für abhängige Stichproben ergänzend der Wilcoxon-Test verwendet. Wie in Tabelle 6-11 und Abbildung 6-5 deutlich wird, unterscheidet sich die Mittelwertsdifferenz zwischen dem Pre- und Post-Test statistisch (höchst-)signifikant von Null. Der Wilcoxon-Test bestätigt dieses Ergebnis ($V = 292$, $p < .001$, $r_{w=}$ - .829). Auch zwischen dem Pre- und Follow-Up-Test kann ein statistisch signifikanter Unterschied verzeichnet werden. Beide Mittelwertsunterschiede weisen dabei hohe Effektstärken von $d \geq 1.0$ auf. Der Vergleich zwischen Post- und Follow-Up Test wird nicht signifikant mit mittlerer Effektstärke.

Tabelle 6-11: Übersicht Inferenzstatistik experimentelle Planungskompetenz – Hauptstudie

Vergleich der Messzeitpunkte	***t***	***df***	***p****	***d***
Pre-Post	7.38	23	< .001	1.51
Pre-Follow-Up	4.56	20	< .001	1.00
Post-Follow-Up	2.05	20	= .08	0.45

*Hinweis: p** = Bonferroni korrigierter *p*-Wert

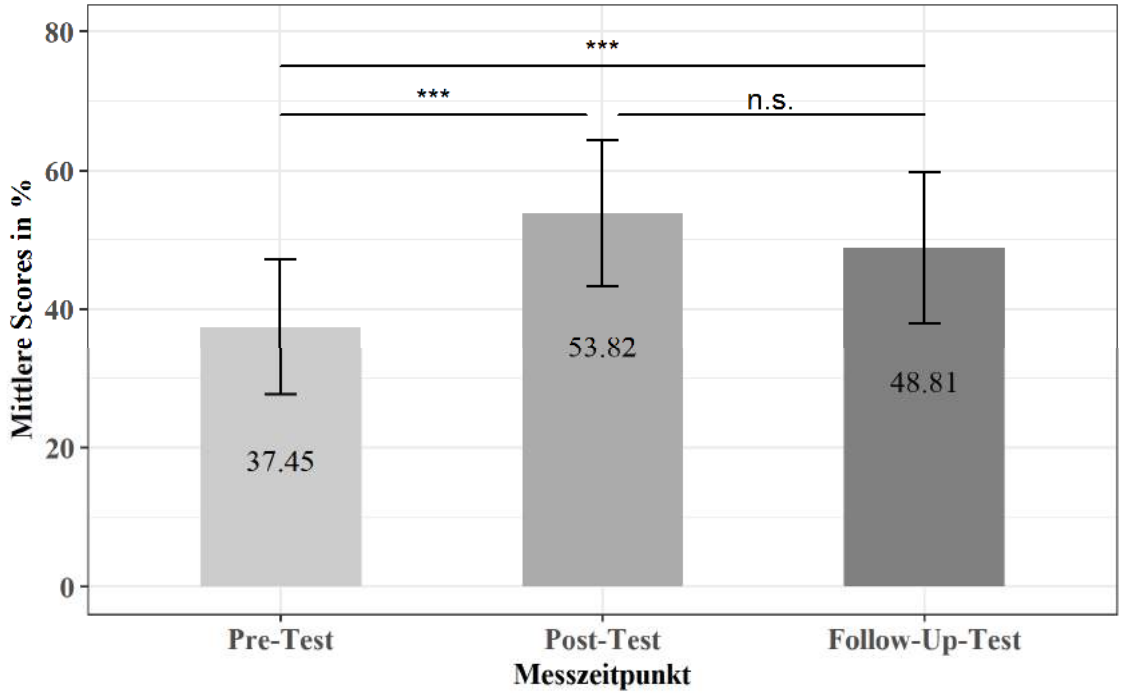


Abbildung 6-5: Pre-Post-Follow-Up-Vergleich – experimentelle Planungskompetenz – Hauptstudie

6.5 Ergebnisse zu den Entwicklungen während des Seminars (Forschungsfrage 4)

Im Verlauf des Seminars entwarfen die Studierenden zu den vorgegebenen Lehrplanthemen (selbstgesteuerte) Experimentierprozesse. Diese Entwürfe wurden zu insgesamt drei Gelegenheiten (Messzeitpunkte X, Y, Z) in Form von pseudonymisierten Protokollen erhoben (vgl. Kapitel 4.3.5). Mit Hilfe des entwickelten Kodiermanuals wurden diese Entwürfe inhaltsanalytisch ausgewertet und hinsichtlich ihrer Qualität eingeschätzt. Für alle 24 Teilnehmer*innen, die an der Hauptstudie im Wintersemester 2019/20 teilnahmen, konnten so über das Seminar hinweg insgesamt je drei Score-Werte ermittelt werden. In Tabelle 6-12 und in Abbildung 6-6 werden die deskriptiven Daten und Verteilungen in Bezug auf die ermittelten Score-Werte pro Messzeitpunkt dargestellt.

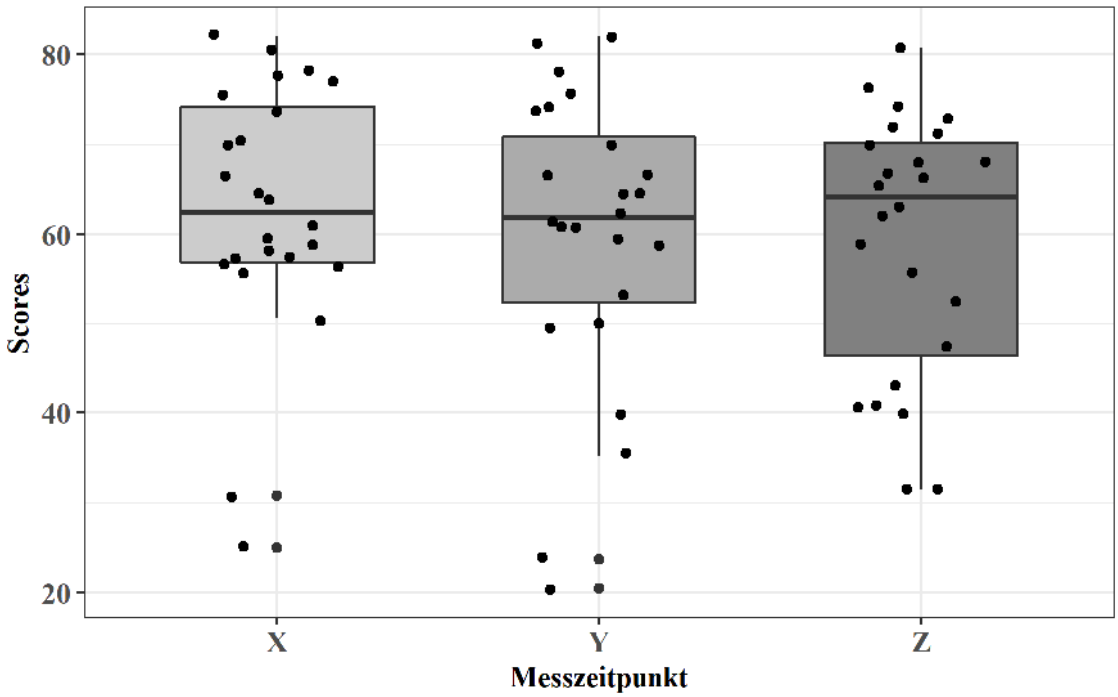


Abbildung 6-6: Verteilung der Score-Werte der Entwürfe pro Messzeitpunkt – Hauptstudie

Tabelle 6-12: Übersicht deskriptive Statistik – Entwicklung der Entwürfe – Hauptstudie

Messzeitpunkt	*N*	*Mean*	*Median*	*SD*	*Min.*	*Max.*
X	24	62.85	62.50	14.15	25.00	82.05
Y	24	59.75	61.86	16.57	20.51	82.05
Z	24	59.08	64.10	14.71	31.41	80.77

Die Daten zeigen, dass sich die ermittelten Maße der zentralen Tendenz (Mittelwert und Median) der drei Messzeitpunkte nur gering voneinander unterscheiden. Der Median verringert sich zum Messzeitpunkt Y hin, nimmt zum Messzeitpunkt Z hin wieder zu. Der

Mittelwert sinkt dagegen kontinuierlich ab. Die Streuung der Score-Werte nimmt von Messzeitpunkt X auf Y zu, wobei an diesem Messzeitpunkt auch das Minium den insgesamt niedrigsten Wert annimmt. Zum Messzeitpunkt Z hin nimmt die Streuung wieder ab. Die Extremwerte sind in diesem Messzeitpunkt moderater als in den beiden anderen.

Im Hinblick auf die einzelnen Subkategorien ergeben sich sehr unterschiedliche Trends (siehe Abbildung 6-7 und Abbildung 6-8). Teilweise nimmt der Mittelwert der erreichten Punkte von Messzeitpunkt zu Messzeitpunkt kontinuierlich ab (z. B. Kategorie 7, 11 und 12). In zehn Subkategorien sinkt der Mittelwert zunächst ab und steigt zum dritten Messzeitpunkt hin wieder an (Kategorie 1, 2, 3, 10, 14, 15, 18, 19, 24, 25). Eine Verbesserung des Mittelwerts zum dritten Messzeitpunkt hin lässt sich dabei nur in den Kategorien 5, 9, 10 und 19 feststellen. Dieser fällt jeweils nur sehr gering aus.

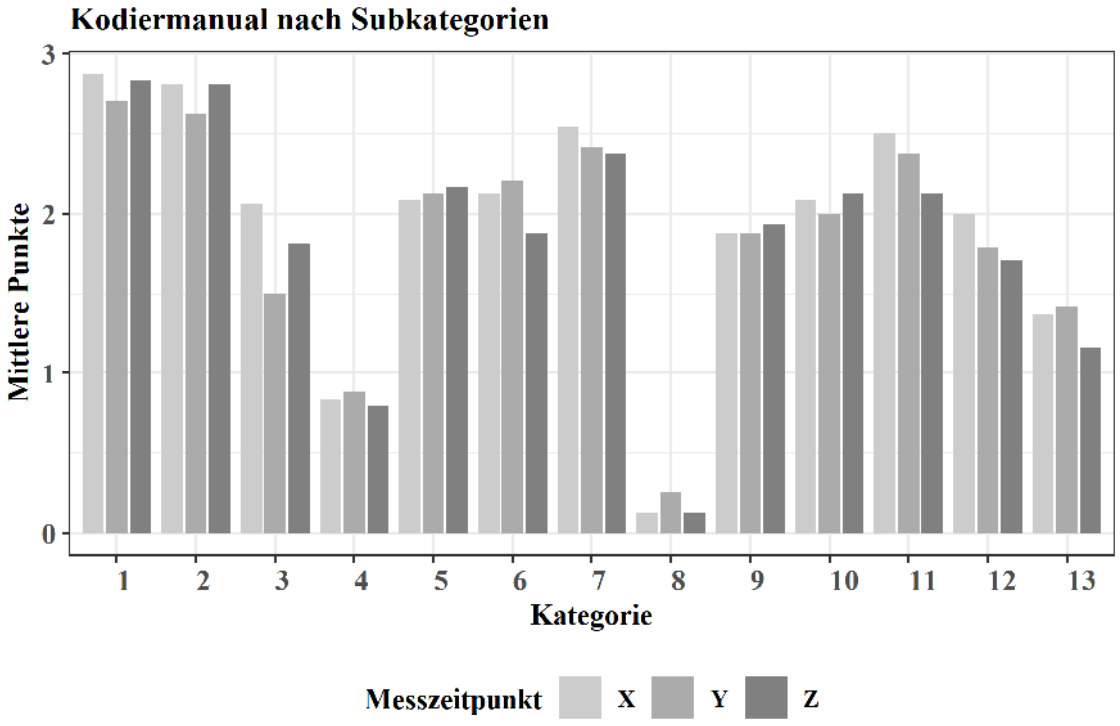


Abbildung 6-7: Entwicklung der Subkategorien 1 – 13 – Entwürfe – Hauptstudie

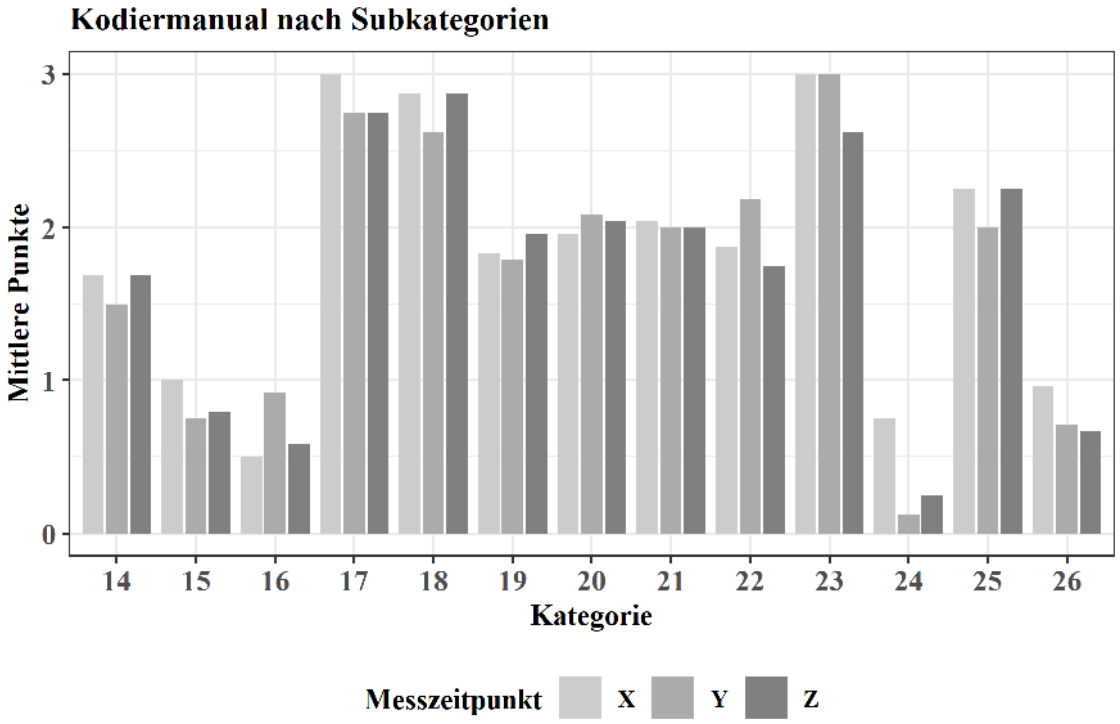


Abbildung 6-8: Entwicklung der Subkategorien 14 – 26 – Entwürfe – Hauptstudie

Die empirisch gefundenen Mittelwertsunterschiede wurden auf ihre statistische Signifikanz hin geprüft. Auf die vorliegenden Daten trifft die Sphärizitätsannahme zu. Da die ermittelten Gesamt-Scores zu keinem der drei Messzeitpunkte normalverteilt sind, wurde zur Überprüfung des Einflusses des Messzeitpunktes auf die abhängige Variable ergänzend zur einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung der Friedman-Test als nonparametrisches Verfahren herangezogen. Dabei konnten keine signifikanten Messwiederholungseffekte gefunden werden ($F(2, 46) = 1.04$, $p = 0.36$, $\eta^2 = .01$) Der Friedman-Test bestätigt dieses Ergebnis ($\chi^2_{(2)} = 0.083$, $p = 0.9592$, $w = .06$).

6.6 Ergebnisse zur Objektivität, Reliabilität und Validität des Kodiermanuals (Forschungsfrage 5)

6.6.1 Ergebnisse zur Objektivität des Kodiermanuals

Um Aussagen über die Objektivität des entwickelten Kodiermanuals zur Erfassung der experimentellen Planungskompetenz treffen zu können, wurden insgesamt 30 Dokumente von je zwei unabhängigen Kodiererinnen analysiert (vgl. Kapitel 4.4.4). Die Übereinstimmung der Kodierungen wurde anhand der absoluten prozentualen Übereinstimmung sowie anhand des Krippendorff Alpha-Koeffizienten für ordinal skalierte Daten (Intercoder-Reliabilität) berechnet. Die untenstehenden Tabellen zeigen die berechneten Koeffizienten für die beiden analysierten Dokumententypen (Entwürfe und Planungskompetenztests). Sowohl die Kodierungen der im Verlauf des Seminars erstellten Entwürfe (Tabelle 6-13) als auch die Kodierungen der Planungskompetenztests (Tabelle 6-14) weisen sehr gute Übereinstimmungswerte auf. Auch die Intercoder-Reliabilität ist jeweils als sehr gut zu werten. Die berechneten Koeffizienten der Planungskompetenztests liegen dabei jeweils etwas niedriger als die der Entwürfe.

Tabelle 6-13: Übereinstimmungs- und Interrater-Reliabilitäts-Koeffizienten – Entwürfe – Hauptstudie

Übereinstimmungskoeffizient	Errechneter Wert
Prozentuale Übereinstimmung	83 %
Krippendorffs Alpha	.91

Tabelle 6-14: Übereinstimmungs- und Interrater-Reliabilitäts-Koeffizienten – Planungskompetenztests – Hauptstudie

Übereinstimmungs-Koeffizient	Errechneter Wert
Prozentuale Übereinstimmung	78.8 %
Krippendorffs Alpha	.86

6.6.2 Ergebnisse zur Reliabilität Kodiermanuals

Zur Bewertung der Verlässlichkeit des Kodiermanuals wurde die interne Konsistenz (Cronbachs α) sowie die Split-Half-Reliabilität (Spearman-Brown) des Kategoriensystems berechnet. Dieses setzt sich aus 26 verschiedenen Subkategorien zusammen. Die Koeffizienten wurden separat für die beiden untersuchten Dokumententypen ermittelt. Für die Analyse der Planungskompetenztests wurden die Post-Test-Daten der 24 Proband*innen des Wintersemesters 2019/20 herangezogen. Die Reliabilitätskoeffizienten der Entwürfe wurden anhand der Daten des dritten Messzeitpunktes (MZP Z) berechnet. In Tabelle 6-15 werden die berechneten Reliabilitätskoeffizienten der beiden Dokumententypen berichtet. Das Cronbachs Alpha des Kategoriensystems liegt für die Testdaten bei $\alpha = .71$ und damit im akzeptablen Bereich. Die Split-Half-Reliabilität der Testdaten

sowie beide Koeffizienten der Entwürfe weisen mit Werten zwischen .81 und .86 jeweils eine gute Reliabilität auf.

Tabelle 6-15: Reliabilitätskoeffizienten Kodiermanual

Dokumententyp	Cronbachs Alpha	Spearman-Brown
Planungskompetenztests	$\alpha = .71$	$r_{tt} = .81$
Entwürfe	$\alpha = .84$	$r_{tt} = .86$

Für die Daten der Planungskompetenztests zeigt sich, dass insgesamt sieben der 26 Kategorien (fachliche Voraussetzungen; Detailliertheit der Beschreibung der Offenheit; Zusätzliche Differenzierung; Begründung der Offenheit; lebensweltliche Einbettung; Generalisierung; Prozessreflexion) geringe Trennschärfen (< .1) aufweisen. Das bedeutet, dass diese Kategorien in diesem Testformat kaum zwischen guten und schlechten Proband*innen differenzieren können. Bei den Entwürfen liegen lediglich drei Kategorien (fachliche Korrektheit; Phasen des Experimentierprozesses; Ergebnisreflexion) mit solch geringer Trennschärfe vor. In beiden Fällen hätte ein Entfernen besagter Kategorien aus dem Kategoriensystem die interne Konsistenz nur geringfügig verbessert (Tests auf $\alpha = .74$ und Entwürfe auf $\alpha = .85$). Aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit der beiden Dokumententypen und der Validität des gemessenen Konstrukts wurden daher diese Subkategorien im Kategoriensystem belassen.

6.6.3 Ergebnisse zur Validität des Kodiermanuals

Korrelationen Entwürfe und Planungskompetenztests

Im Rahmen der Validierung des Messinstruments zur Erfassung der experimentellen Planungskompetenz stellt sich die Frage, inwiefern die Ergebnisse in den Planungskompetenztests mit den erreichten Score-Werten der geplanten Entwürfe korrelieren. Da nur die Daten des Pre-Tests sowie des MZP Z normalverteilt sind, wurde nur für diese Kombination die Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson berechnet. Für alle anderen Kombinationen wurde die Spearman Korrelation herangezogen. In Tabelle 6-16 sind die Korrelationen zwischen den verschiedenen Messzeitpunkten dargestellt.

Tabelle 6-16: Korrelation Entwürfe und Planungskompetenztests

Korrelation zwischen	r/r_s	p
Pre-Test – MZP X	$r_s = .37$	< .05
Pre-Test – MZP Y	$r_s = .41$	< .05
Pre-Test – MZP Z	$r = .30$	= .076; n. s.
Post-Test – MZP X	$r_s = .44$	< .05
Post-Test – MZP Y	$r_s = .49$	< .01
Post-Test – MZP Z	$r_s = .51$	< .01

Hinweis: r = Korrelation nach Pearson; r_s = Korrelation nach Spearman

Insgesamt zeigt sich stets eine moderate Korrelation zwischen den Ergebnissen im Pre- bzw. Post-Test und den erreichten Score-Werten in den jeweiligen Entwürfen. Die Korrelationen der Daten des Post-Tests mit denen der Entwürfe der verschiedenen Messzeitpunkte liegt dabei im Schnitt etwas höher als die der Pre-Tests. Nur die Korrelation zwischen den Pre-Test-Ergebnissen und den Score-Werten des MZP Z wird dabei nicht signifikant.

Zusammenhang der experimentellen Planungskompetenz mit Kovariaten

In der vorliegenden Studie wurde das experimentell-fachdidaktische Wissen der Proband*innen mit Hilfe eines Paper-Pencil-Tests erhoben (vgl. Kapitel 4.3.2). Dieses kann als das pPCK bezogen auf experimentelle Inhalte aufgefasst werden. Die experimentelle Planungskompetenz wurde durch die inhaltsanalytische Auswertung der schriftlichen Planungen, die im Rahmen eines standardisierten Tests verfasst wurden (vgl. Kapitel 4.3.4), ermittelt. Hinsichtlich der Validierung des Messinstruments stellt sich die Frage, ob die durch Kodierung der schriftlichen Planungen ermittelten Werte tatsächlich als das $ePCK_p$ der Proband*innen verstanden werden können. Auf Grundlage des Consensus Model of PCK ist von einem Zusammenhang dieser beiden Konstrukte auszugehen. Um diesen in den erhobenen Daten zu untersuchen, wurden zunächst die Korrelationen der beiden Konstrukte berechnet. In Tabelle 6-17 sind die Ergebnisse der Korrelationsberechnung dargestellt. Zu beiden Messzeitpunkten ergibt sich eine moderate Korrelation zwischen den jeweiligen Score-Werten.

Tabelle 6-17: Korrelation experimentell-fachdidaktisches Wissen und experimentelle Planungskompetenz

Messzeitpunkt	$\boldsymbol{r/r_s}$	$\boldsymbol{p}$
Pre-Test	$\boldsymbol{r}$ = .49	< .01
Post-Test	$\boldsymbol{r_s}$ = .41	< .05

Hinweis: r = Korrelation nach Pearson; r_s = Korrelation nach Spearman

Da durch die Teilnahme an dem Seminar u. a. die experimentelle Planungskompetenz gefördert wurde (vgl. Kapitel 6.4), soll mit Hilfe eines gemischten linearen Regressionsmodells (LMM) der Einfluss sowohl des Messzeitpunkts als auch des experimentell-fachdidaktischen Wissens auf die experimentelle Planungskompetenz untersucht werden. Dazu wurde folgendes Modell angenommen:

$$\hat{y}_{ij} = \gamma_0 + \gamma_1 MZP + \gamma_2 PCK + u_{0i} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

Zusätzlich wurden die fachspezifischen Überzeugungen, die Zielorientierungen und die Selbstwirksamkeitserwartungen der Studierenden erhoben. Diese haben nach dem Consensus Model of PCK eine Filterfunktion und können daher einen zusätzlichen Einfluss auf die Entwicklung des ePCK und des pPCK haben. Aus diesem Grund werden diese

Variablen in ein weiteres Modell aufgenommen. Da die Skala zu den Zielorientierungen eine zu geringe interne Konsistenz aufweist, fließt diese nicht in das Modell ein.

$$\hat{y}_{ij} = \gamma_0 + \gamma_1 MZP + \gamma_2 PCK + \gamma_3 FÜ + \gamma_4 SWE + u_{0i} + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

In Tabelle 6-18 sind die Ergebnisse der gemischten linearen Regression zu finden. Es existiert ein signifikanter Einfluss des experimentell-fachdidaktischen Wissens (PCK) auf die experimentelle Planungskompetenz, welcher auch im erweiterten Modell (2) bestehen bleibt. In beiden Modellen ergibt sich ein höchstsignifikanter Einfluss des Messzeitpunktes. Darüber hinaus weisen die Selbstwirksamkeitserwartungen (SWE) einen signifikanten negativen Einfluss auf das Ergebnis im Planungskompetenz auf. Die fachspezifischen Überzeugungen (FÜ) haben keinen signifikanten Einfluss. Die Menge an erklärter Varianz des ersten Modells liegt bei $R^2_{\text{Marginal}} = .516$ bzw. $R^2_{\text{Conditional}} = .649$. In Modell (2) wird 56.5 % der Varianz von den fixierten Effekten aufgeklärt ($R^2_{\text{Marginal}} = .565$; $R^2_{\text{Conditional}} = .616$). Modell (2) weist dabei einen geringeren BIC auf und ist daher das zu bevorzugende Modell (vgl. Abbildung 10-51).

Tabelle 6-18: LMM experimentelle Planungskompetenz

	γ	***SE***	***t***	***p***
Modell (1)				
Intercept	20.305	5.747	3.533	< .01
MZP	13.889	2.371	5.858	< .001
PCK	0.285	0.091	3.152	< .01
Modell (2)				
Intercept	14.631	20.435	0.716	= .482
MZP	17.327	2.935	5.903	< .001
PCK	0.246	0.095	2.584	< .05
FÜ	8.660	6.038	1.434	= .165
SWE	-7.695	3.670	-2.097	< .05

Hinweis: γ = Regressionskoeffizient; *SE* = Standardfehler

Der im Consensus Model of PCK postulierte wechselseitige Zusammenhang zwischen pPCK und ePCK legt zusätzlich die Vermutung nahe, dass die experimentelle Planungskompetenz einen Einfluss auf das experimentell-fachdidaktische Wissen der Studierenden hat. Um dies zu untersuchen, wurden zwei weitere Modellgleichungen aufgestellt. In diesen stellt das experimentell-fachdidaktische Wissen die abhängige Variable dar.

$$\hat{y}_{ij} = \gamma_0 + \gamma_1 MZP + \gamma_2 Plako + u_{0i} + \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

$$\hat{y}_{ij} = \gamma_0 + \gamma_1 MZP + \gamma_2 Plako + \gamma_3 FÜ + \gamma_4 SWE + u_{0i} + \varepsilon_{ij} \quad (4)$$

Tabelle 6-19: LMM experimentell-fachdidaktisches Wissen

	γ	*SE*	*t*	*p*
Modell (3)				
Intercept	41.649	7.851	5.305	< .001
MZP	0.656	4.162	0.158	= 0.876
Plako	0.491	0.195	2.524	< 0.05
Modell (4)				
Intercept	-38.922	35.934	-1.083	= .291
MZP	3.159	4.964	0.636	= .529
Plako	0.385	0.197	1.950	= .058
FÜ	24.121	9.999	2.412	< .05
SWE	-1.879	5.345	-0.351	= .727

Hinweis: γ = Regressionskoeffizient; *SE* = Standardfehler

In Modell (3) weist die Planungskompetenz einen signifikanten Einfluss auf das experimentell-fachdidaktische Wissen auf. In diesem Modell wird etwa 17 % der Varianz durch die fixierten Effekte erklärt ($R^2_{Marginal}$ = .177; $R^2_{Conditional}$ = .653). In Modell (4) wird dieser Effekt knapp nicht mehr signifikant. Die fachspezifischen Überzeugungen haben in diesem Modell einen signifikanten Einfluss auf das fachdidaktische Wissen. Der Messzeitpunkt hat in beiden Fällen keinen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse im fachdidaktischen Wissenstest. Die Varianzaufklärung der fixierten Effekte liegt in Modell (4) mit $R^2_{Marginal}$ = .328 ($R^2_{Conditional}$ = .691) fast doppelt so hoch wie in Modell (3). Nach dem BIC ist Modell (4) zu bevorzugen.

7 Diskussion und Ausblick

Im folgenden Kapitel werden zunächst die Ergebnisse der Hauptstudie interpretiert, in Bezug auf die vorliegenden Forschungsfragen gesetzt und die in Kapitel 3 aufgestellten Forschungshypothesen auf ihre Gültigkeit überprüft. In Kapitel 7.2 werden abschließend methodische Aspekte der Studie diskutiert und ein möglicher Ausblick auf Folgestudien gegeben.

7.1 Diskussion der Ergebnisse

7.1.1 Entwicklung eines lernwirksamen Seminarkonzepts

Im Rahmen dieser ersten Zielsetzung wurden die beiden Forschungsfragen hinsichtlich der Entwicklung des experimentell-fachdidaktischen Wissens (FF 1) und der domänenspezifischen Selbstwirksamkeitserwartungen (FF 2) formuliert. Nachfolgend werden die Ergebnisse diskutiert und zugehörigen Hypothesen geprüft.

Hypothese 1

Durch die Teilnahme am Seminar lässt sich ein Wissenszuwachs bezüglich des experimentell-fachdidaktischen Wissens feststellen.

Die Stichprobe erzielte im Post-Test höchstsignifikant bessere Ergebnisse als im Pre-Test. Auch im Follow-up-Test schnitten die Studierenden signifikant besser ab als im Pre-Test. Die mittelgroßen Effekte weisen überdies auf einen praktisch bedeutsamen Effekt hin. Die Ergebnisse zeigen somit einen langfristigen signifikanten Zuwachs des experimentell-fachdidaktischen Wissens der Studierenden. Die Hypothese 1 kann daher verifiziert werden. In der Studie von Anthofer (2017) konnte ein großer Effekt der Intervention auf das experimentell-fachdidaktische Wissen verzeichnet werden, während dies in den Studien von Kobl (2021) und Telser (2019) nicht nachgewiesen werden konnte. In der Längsschnittstudie von Schröder et al. (2020) konnte ein mittlerer, signifikanter Zuwachs des fachdidaktischen Wissens im Verlauf des Praxissemesters gemessen werden. Die vorliegenden Ergebnisse können die Entwicklungen bei Anthofer (2017) und Schröder et al. (2020) bestätigen. Ein Grund für die mittleren Effektstärken in der vorliegenden Studie könnte sein, dass die Inhalte des experimentell-fachdidaktischen Wissenstests in der Intervention mit Einschränkung nur implizit thematisiert und gefördert wurden. Durch die zahlreichen Maßnahmen, wie zum Beispiel das wiederholte Planen von Experimentierumgebungen und deren Reflexion, könnten diese Inhalte aber indirekt vermittelt worden sein.

Hypothese 2

Es lässt sich eine Steigerung der domänenspezifischen Selbstwirksamkeitserwartungen der Studierenden feststellen.

Sowohl in Bezug auf die Gesamtskala als auch hinsichtlich der Subskalen *Planung* sowie *Durchführung von Experimenten* weisen die Studierenden im Post-Test höchstsignifikant bessere Werte auf als im Pre-Test. Mit Effektstärken von über $d = .9$ haben diese Unterschiede darüber hinaus sehr hohe praktische Bedeutsamkeit. Die Hypothese 2 kann daher bestätigt werden. Vergleichbare Ergebnisse wurden in der Studie von Kobl (2021) berichtet. Nach der Intervention scheinen die Studierenden ihre eigenen Fähigkeiten besser einzuschätzen. Dies gilt für Items wie „Es bereitet mir keine Probleme, zu einem Thema passende Experimente vorzubereiten." sowie „Ich fühle mich beim Experimentieren kompetent.", welche im Seminar direkt angesprochene Aspekte fokussieren. Die Gesamtskala enthält darüber hinaus Items wie „Ich weiß, dass ich auch bei der Aufbereitung komplexer chemischer Inhalte lernförderliche Analogien und Modelle finde". Diese haben zwar teilweise nur einen impliziten Zusammenhang mit den Inhalten der Intervention. Das praktische Handeln in Bezug auf die Planung von Experimentierprozessen erfordert aber die Aufbereitung und Strukturierung chemischer Inhalte. Die Steigerung der Selbstwirksamkeitserwartungen in Bezug auf die Gesamtskala legt nahe, dass sich die Studierenden nach dem Seminar auch hinsichtlich solcher Aufgabenfelder kompetenter fühlen, welche nicht ausschließlich mit der Durchführung und Planung von Experimenten zusammenhängen. Erste Hinweise auf einen Praxiseffekt konnten in der Arbeit von Rabe et al. (2012) beispielsweise in Bezug auf die Subskala Durchführung von Experimenten gezeigt werden. Dies konnte in der Studie von Seifert und Schaper (2018) bestätigt werden. Durch die Teilnahme am Praxissemester konnten die Lehrerselbstwirksamkeitserwartungen der teilnehmenden Studierenden gesteigert werden ($t(374) = -9.623$; $p < .001$; $d = .50$). Die Ergebnisse der hier vorliegenden Studie können die dort nachgewiesenen Effekte bestätigen.

7.1.2 Förderung und Erfassung experimenteller Planungskompetenz

Die zweite Zielsetzung der vorliegenden Arbeit betrifft die Förderung und Erfassung der experimentellen Planungskompetenz der Studierenden.

Hypothese 3

Die experimentelle Planungskompetenz der Studierenden kann durch die Teilnahme am Seminar gesteigert werden.

Die Proband*innen schneiden zum Post-Test-Zeitpunkt höchstsignifikant besser ab als zum Pre-Test-Zeitpunkt. Die Ergebnisse im Follow-Up-Test übersteigen die Pre-Test-Ergebnisse ebenfalls höchstsignifikant. Mit großen Effektstärken weisen diese Zuwächse

darüber hinaus eine hohe praktische Bedeutsamkeit auf. Auf Grundlage dieser Ergebnisse kann eine langfristige Steigerung der experimentellen Planungskompetenz nachgewiesen und damit die Hypothese 3 bestätigt werden. Die Ergebnisse übersteigen dabei die moderaten Effekte, wie sie beispielsweise von Schröder et al. (2020) in Bezug auf die Entwicklung der Unterrichtsplanungskompetenz im Verlauf des Praxissemester im Fach Physik ermittelt werden konnten. Ein Grund für die vergleichsweisen hohen Effekte könnte sein, dass die Studierenden im vorliegenden Seminarkonzept viele Gelegenheiten zur Planung der Experimentierprozesse erhielten. Zusätzlich wurden sie durch die anfängliche Theoriephase, der Strukturierungshilfe sowie durch geeignete Beispiele inhaltlich unterstützt. Im Gegensatz zu den Seminarkonzepten von Anthofer (2017) und Kobl (2021) wurde darüber hinaus die Teilnahme von Schulklassen bewusst ausgeschlossen. Die Rolle der Feedbackgeber*innen übernehmen die Studierenden selbst. Dadurch wurde den Teilnehmer*innen die Möglichkeit geboten, sich auf die Planung der Experimentierprozesse zu konzentrieren, ohne gleichzeitig auf eine möglichst gute Durchführung vor einer Schulklasse zu achten. Mit dem Ausklammern der Durchführung der Entwürfe vor Schülerinnen und Schüler wurde daher die Prozesse der Planung und Reflexion (reflection on action) betont. Diese Fokussierung könnte eine weitere Ursache für die großen Effektstärken sein.

Hypothese 4

Die Qualität der Entwürfe steigt mit dem zeitlichen Verlauf des Seminars.

Die Ergebnisse zeigen keinen signifikanten Einfluss des Messzeitpunktes auf die Score-Werte der Entwürfe. Die Hypothese 4 muss daher falsifiziert werden. Kleine deskriptive Schwankungen in den Maßen der zentralen Tendenz und in der Streuung der Score-Werte lassen sich u. a. durch die unterschiedlichen zugrundeliegenden Lehrplanthemen erklären. Jede Person erhielt zu Beginn der Intervention drei verschiedene Themen, zu denen sie je zwei Entwürfe anfertigten. Die Lehrplanthemen unterscheiden sich hinsichtlich der betroffenen Jahrgangsstufe und der Eignung für die Planung insbesondere selbstgesteuerter Experimentierformen. Ein Effekt über die Messzeitpunkte hinweg lässt sich nicht belegen. Viel eher scheint es so zu sein, dass jede Person bis auf kleinere Schwankungen ein gewisses Niveau hat, welches sich während des Seminars hinweg nur wenig ändert. Zu erklären ist diese Tatsache damit, dass für die Hauptstudie ein Beispielprotokoll entwickelt wurde. Dieses stand den Studierenden zusammen mit den Informationen aus der anfänglichen Theoriephase für ihre Planungen zur Verfügung. Bei der Entwicklung der Beispiele wurde auf die Umsetzung der in der Theoriephase vermittelten Aspekte geachtet. Dadurch konnten die Studierenden eine exemplarische Umsetzung nutzen und diese auf ihre eigenen Beispiele – auch bereits in ihren ersten Entwürfen – anwenden. Gegen einen entscheidenden Einfluss des Beispielprotokolls sprechen die z. T. großen individuellen Unterscheide zwischen den Probandinnen.

Hypothese 5.1

Das Kodiermanual ist geeignet, die experimentelle Planungskompetenz objektiv zu erfassen.

Die Objektivität des Kodiermanuals wurde anhand von Doppelkodierungen überprüft und für die beiden Dokumententypen (Planungskompetenztests und Entwürfe) getrennt ausgewertet. Die ermittelten Koeffizienten, insbesondere das Krippendorffs Alpha für ordinal skalierte Daten, weisen gute Werte auf. Dabei zeigt sich ein Unterschied zwischen den beiden Dokumententypen. Die Koeffizienten der Entwürfe übersteigen jeweils die der Planungskompetenztests. Zu beachten ist dabei, dass die Kodierungen der Entwürfe von einem anderen Kodierer*innen-Paar vorgenommen wurde als die der Planungskompetenztests. Dieser Schritt war nötig, da eine Kodiererin nicht für alle Kodierungen zur Verfügung stand. Aufgrund der Konfundierung der Variablen Dokumententyp und Kodierer*in lässt sich hier keine eindeutige Ursache nennen. Neben den individuellen Einflüssen der Kodierer*innen wäre es aber denkbar, dass die formale Qualität der Dokumente einen Einfluss auf die Übereinstimmungswerte hat. Manche Passagen der schriftlichen Planungen, die im Rahmen des Planungskompetenztests innerhalb von 60 Minuten erstellt wurden, waren sprachlich nicht immer eindeutig formuliert. Für die schriftlichen Planungen im Rahmen der Entwürfe hatten die Studierenden dagegen deutlich mehr Bearbeitungszeit, sodass hier auch eine höhere sprachliche Qualität zu beobachten war. Dennoch kann auch für die Planungskompetenztests eine hinreichende Objektivität angenommen werden. Das Kodiermanual kann daher insgesamt als hinreichend objektiv gewertet und die Hypothese 5.1 somit verifiziert werden. Damit reiht sich diese Arbeit in andere Studien zu ähnlichen Themenfeldern ein. Die Arbeiten von Tardent Kuster (2019) sowie Schröder et al. (2020) beschäftigen sich mit den Unterrichtsplanungen von angehenden Biologie- bzw. Physiklehrkräften. In ihren Arbeiten wurden zur inhaltsanalytischen Auswertung der erhobenen Planungsdokumente ebenfalls ein Rating- bzw. Kodiermanual eingesetzt. Die Autor*innen verwendeten zur Überprüfung der Objektivität andere Koeffizienten, als sie in der vorliegenden Arbeit zum Einsatz kamen. In beiden Arbeiten konnten ebenfalls hohe Übereinstimmungskoeffizienten festgestellt werden. Im Gegensatz zu den genannten Arbeiten ist das Ziel des vorliegenden Messinstruments die themenübergreifende Erfassung der experimentellen Planungskompetenz, was eine themenunabhängige Operationalisierung der Ausprägungen nötig machte. Dass insbesondere die thematisch sehr unterschiedlichen Entwürfe hohe Übereinstimmungswerte aufweisen, ist als sehr positiv zu werten.

Hypothese 5.2

Das Kodiermanual ist geeignet, die experimentelle Planungskompetenz reliabel zu erfassen.

Zur Überprüfung dieser Hypothese wurden zwei unterschiedliche Reliabilitätskoeffizienten herangezogen, welche für die beiden Dokumententypen getrennt ausgewertet wurden. Die Koeffizienten können durchwegs als akzeptabel bzw. gut gewertet werden, sodass die Reliabilität und damit die Hypothese 5.2 bestätigt werden kann. Auch hier lassen sich bei den Entwürfen jeweils höhere Werte beobachten. Der Blick auf die Trennschärfen der einzelnen Subkategorien zeigt, dass in Bezug auf die Planungskompetenztests sieben Kategorien enthalten sind, welche nicht ausreichend zwischen guten und schlechten Proband*innen differenzieren können. Bei den Entwürfen ist dies bei drei anderen Kategorien der Fall. Dieser Umstand lässt sich mit den unterschiedlichen Testformaten erklären. Im Rahmen des Planungskompetenztests hatten die Studierenden maximal eine Stunde zur Bearbeitung Zeit. Zum Zwecke der Standardisierung stand dabei allen Studierenden das gleiche Material zur Verfügung. Eine Recherche außerhalb dieser Materialen, beispielsweise im Internet, wurde nicht zugelassen. In der Aufgabenstellung wurde zwar eine gewisse Breite zur Verfassung der Planungen vorgegeben, diese deckt aber nicht die gesamte Breite des Kodiermanuals ab. Im Gegensatz dazu hatten die Studierenden für die Entwicklung ihrer Entwürfe eine deutlich längere Bearbeitungszeit sowie die Möglichkeit, die Kursunterlagen heranzuziehen und in externen Quellen zu recherchieren.

Für eine Einordnung des nur akzeptablen Wertes der Planungskompetenztests von $\alpha_{Cronbach}$ = .71 soll dieser mit der internen Konsistenz des Kodiermanuals von Schröder et al. (2020) verglichen werden. Da die Höhe des Alpha-Koeffizienten nach Cronbach u. a. von der Anzahl der Items abhängt, sollte hierzu nach Rost (2013) die Spearman-Brown Verlängerungsformel angewendet werden. Bei Schröder et al. (2020) erreichte das aus insgesamt 59 dichotomen Items bestehende Manual eine interne Konsistenz von $\alpha_{Cronbach}$ = .81. Erhöht man die Itemanzahl des vorliegenden Manuals von 26 auf 59, so käme dieses auf einen guten Wert von $\alpha_{Cronbach}$ = .85. Selbst der niedrigste der ermittelten Werte weist damit eine vergleichbare Größe zu denen ähnlicher Arbeiten auf.

Hypothese 5.3

Das Kodiermanual ist geeignet, die experimentelle Planungskompetenz valide zu erfassen.

Zur Überprüfung der Konstruktvalidität wurden Zusammenhangsanalysen durchgeführt. Hierbei zeigt sich zunächst eine moderate Korrelation zwischen den Daten der Entwürfe und den Ergebnissen im Planungskompetenztest zum Pre- bzw. Post-Test-Zeitpunkt. Die moderaten Werte lassen sich wiederum durch die unterschiedlichen Formate erklären. Im Planungskompetenztest wurden verhältnismäßig wenig Vorgaben gegeben. Hier mussten

die Studierenden auf Grundlage dieser Informationen und ihrer persönlichen Kompetenzen innerhalb kurzer Zeit einen Experimentierprozess entwickeln. In den Entwürfen dagegen hatten die Studierenden die Möglichkeit auf viele Informationen und für das Seminar erstellte Material zurückzugreifen. Personen, die unter Zeitdruck und mit wenig Hilfestellung eine weniger hochwertige Planung verschriftlichen, könnten in einer Situation, in der mehr Ressourcen zur Verfügung stehen, durchaus besser abschneiden. Diesen Unterschieden zum Trotz sprechen die meist signifikanten und moderaten Korrelationen insbesondere gegen Ende des Seminars dafür, dass sowohl die Entwürfe während des Seminars als auch die Tests ähnliche Konstrukte erfassen.

Zur weiteren Validierung wurde auf Grundlage des Consensus Model of PCK eine Modellierung vorgenommen, welche die erhobenen Konstrukte in einen theoretisch plausiblen Zusammenhang bringt. Hier zeigt sich zunächst jeweils eine signifikante, moderate Korrelation zwischen den Ergebnissen des experimentell-fachdidaktischen Wissenstests und des Planungskompetenztests. Diese gibt erste Hinweise auf die Konstruktvalidität des Messinstruments. Etwas niedrigere aber vergleichbare Zusammenhänge zwischen der Planungskompetenz und dem fachdidaktischen Wissen konnten beispielsweise bei Schröder et al. (2020) nachgewiesen werden (r = .32 - .33). Um den Einfluss des experimentell-fachdidaktischen Wissens auf die experimentelle Planungskompetenz genauer zu betrachten, wurde ein lineares gemischtes Modell gerechnet. Im ersten Modell zeigt sich erneut der signifikante Einfluss des Messzeitpunktes auf die experimentelle Planungskompetenz. Zusätzlich haben die Ergebnisse im experimentell-fachdidaktischen Wissenstest einen signifikanten Haupteffekt. Der Regressionskoeffizient von $\gamma = 0.285$ bedeutet, dass eine Steigerung des fachdidaktischen Wissens um zehn Prozentpunkte mit der Steigerung der experimentellen Planungskompetenz um 2.85 Prozentpunkte einhergeht. Der Effekt ist als eher schwach einzuordnen. Dies könnte u. a. daran liegen, dass bei den Tests unterschiedliche Anforderungen an die Studierenden gestellt werden. Der Test zum fachdidaktischen Wissen ist ein Paper-Pencil-Test, in dem vorformulierte Handlungsoptionen hinsichtlich ihrer Eignung eingeordnet werden sollen. Im Test zur experimentellen Planungskompetenz dagegen mussten die Studierenden eigene Ideen und Gedanken zu der gegebenen Planungsaufgabe verschriftlichen. Der signifikante Einfluss des pPCK bleibt erhalten, wenn weitere Prädiktoren ins Modell aufgenommen werden. Dieses zweite Modell weist zusätzlich einen negativen signifikanten Haupteffekt der Selbstwirksamkeitserwartungen nach. Das bedeutet, dass Personen mit hoher Selbstwirksamkeit schlechter im Planungskompetenztest abschneiden. Sehr viele Studien berichten zwar von positiven Auswirkungen der Selbstwirksamkeitserwartung auf die Leistung, immer wieder werden aber auch negative Effekte berichtet (vgl. Vancouver, Thompson, Tischner & Putka, 2002). Erklären lässt sich dies möglicherweise dadurch, dass Personen, welche davon ausgehen bestimmte Aufgaben leicht bewältigen zu können, eine geringere Anstrengungsbereitschaft zeigen. Dies kann sich negativ auf die Leistung der Personen auswirken. Insgesamt gibt das Modell mit einer Varianzaufklärung von über 55 % ernstzunehmende Hinweise auf die Validität des gemessenen Konstrukts. Ein Einfluss des fachdidaktischen Wissens (pPCK) auf die Planungskompetenz ($ePCK_p$), wie es im Consensus Model of PCK postuliert wird, konnte somit empirisch nachgewiesen werden.

Die Gegenrichtung, das heißt ein Effekt der experimentellen Planungskompetenz auf das experimentell-fachdidaktische Wissen, konnte in einem weiteren Modell nachgewiesen werden. Dabei zeigt sich zusätzlich, dass es keinen signifikanten Einfluss des Messzeitpunktes auf das experimentell-fachdidaktische Wissen gibt. Die Erweiterung des Modells mit höherer Varianzaufklärung zeigt einen signifikanten Einfluss der fachspezifischen Überzeugungen. Der Einfluss der experimentellen Planungskompetenz ist dann allerdings knapp nicht mehr signifikant. Insgesamt zeigt diese zweite Modellierung, dass es einen Einfluss der Überzeugungen auf das pPCK der Studierenden gibt, wie es auch im Consensus Model of PCK angenommen wird. Zusammenfassend gibt es deutliche empirische Hinweise auf die aus der Theorie ableitbaren Zusammenhangshypothesen. Die Hypothese 5.3 kann daher unter Vorbehalt als bestätigt angesehen werden.

7.2 Reflexion methodischer Aspekte und Ausblick

Das Ziel der vorgestellten Studie war die Entwicklung und Evaluation einer lernwirksamen Seminarkonzeption. Während die meisten Hypothesen bestätigt werden konnten, sollen die folgenden Ausführungen kritische Aspekte der Studie beleuchten und Ansatzpunkte für weiterführende Arbeiten liefern.

Studiendesign

Im Rahmen der Seminarkonzeption wurden viele verschiedene Maßnahmen eingesetzt, von denen grundsätzlich eine lernwirksame Wirkung ausgehen kann. Im Fokus stand der grundsätzliche Nachweis dieser Lernwirksamkeit. Einzelne Einflüsse verschiedener Maßnahmen können dabei nicht unterschieden werden. Beispielsweise kann die Wirkung der theoretischen Einführung nicht von der Erarbeitung eigener Entwürfe oder deren Reflexion im Laufe des Seminars getrennt werden. Inwiefern das Geben von Feedback einen Einfluss auf die Entwicklung der Studierenden hat, kann ebenso wenig geklärt werden. Um die Wirkung der verschiedenen Maßnahmen genauer zu untersuchen, müssten diese in einem mindestens quasiexperimentellen Design systematisch variiert bzw. kontrolliert werden. Eine ähnliche Vorgehensweise wurde bereits an der Universität Regensburg praktiziert. Während Anthofer (2017) ein Seminarkonzept entwickelte und grundsätzliche Nachweise für dessen Wirksamkeit belegen konnte, wurde dieses von Kobl (2021) weiterentwickelt. Mit verschiedenen Interventionsgruppen und einer Kontrollgruppe konnten hier detailliertere Informationen über die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen generiert werden. Eine ähnliche Vorgehensweise könnte für eine auf diese Arbeit folgende Studie ebenfalls sinnvoll sein.

Die großen Effekte und die nachgewiesenen korrelativen Beziehungen zwischen den gemessenen Konstrukten weisen auf die Wirksamkeit des beschriebenen Seminarkonzepts hin. Aufgrund des Studiendesigns lassen sich diese Effekte aber nicht mit abschließender Sicherheit auf die Teilnahme am Seminar zurückführen. Um generelle Lerneffekte im Verlauf eines Semesters oder durch andere Veranstaltungen auszuschließen,

müssten parallel die Daten einer Stichprobe erhoben werden, welche nicht an der Intervention teilnimmt. Die theoriebasierte Konzeption, die Rückmeldungen der Studierenden und die mit der experimentellen Studie von Kobl (2021) vergleichbare Größenordnung der empirisch erhobenen Daten lassen es allerdings als extrem unwahrscheinlich erscheinen, dass die erhaltenen Effekte nicht auf die Lehrveranstaltung zurückzuführen sein könnten.

Von Seiten der Studierenden wurde häufig bemängelt, dass das Verfassen der zu den Entwürfen gehörenden Protokolle sehr zeitaufwendig war. Diese Rückmeldung ist deshalb ernst zu nehmen, da mit fehlender Akzeptanz der eingesetzten Methoden auch die Anstrengungsbereitschaft und die Leistungsmotivation sinken können. Es wäre daher interessant, ob sich ähnlich hohe Effekte der Intervention auch ergeben würden, wenn der Arbeitsaufwand während des Semesters reduziert werden würde.

Test zur experimentellen Planungskompetenz und Kodiermanual

Wie gezeigt werden konnte, genügt das zur Auswertung der Qualität der schriftlichen Planungen entwickelte Kodiermanual üblichen Gütekriterien. Darüber hinaus konnte nachgewiesen werden, dass Unterschiede zwischen den Studierenden und zwischen den Messzeitpunkten im Rahmen des experimentellen Planungskompetenztests sensitiv erfasst werden können. Dies belegt die Anwendbarkeit des entwickelten Testformats sowie des Messinstruments (vgl. Schröder et al., 2020). Insgesamt wird deutlich, dass die ermittelten Kennwerte des Planungskompetenztests unter denen der Entwürfe liegen. Eine mögliche Erklärung dafür ist die teilweise mangelnde sprachliche und formale Qualität der erhobenen Planungen. Eine Überarbeitung der Aufgabenstellung mit entsprechenden Hinweisen, bei den Ausführungen auf eine eindeutige Formulierung zu achten, könnte an dieser Stelle hilfreich sein. Die Beschränkung der Informationsquellen während der Planungskompetenztests wurde aufgrund der Sicherstellung der Standardisierung gewählt. Eine Erweiterung der zulässigen Informationsquellen, beispielsweise eine Recherche im Internet, würde die Authentizität der Planungssituation sowie die Vergleichbarkeit mit den Entwürfen erhöhen.

Das Kodiermanual stellte sich insgesamt als hinreichend objektiv und reliabel heraus. Neben den bereits angesprochenen Schwierigkeiten ergaben sich insbesondere bei der Kategorie „fachliche Korrektheit“, welche sowohl fachliche als auch fachsprachliche Fehler fokussiert, gelegentlich Unstimmigkeiten. Diese Kategorie hängt einerseits stark vom Vorwissen der Kodierenden ab. Andererseits sind fachsprachliche Fehler nicht immer leicht erkennbar. Das Kodiermanual wurde mit dem Ziel eingesetzt, die geplanten Experimentierprozesse themenübergreifend zu analysieren. Dies erschwert die Kodierung dieser Kategorie zusätzlich. Gegebenenfalls sollten hier eine eindeutigere Formulierung der Ausprägungen oder eine höhere Anzahl an Beispielen eingeführt werden.

8 Zusammenfassung

Mit der Einführung der Nationalen Bildungsstandards wurde die Forderung nach Kompetenzorientierung im deutschen Schulunterricht laut. Für das Fach Chemie bedeutet dies u. a. die explizite Förderung von Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung (Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005a). Die Analyse naturwissenschaftlichen Unterrichts macht deutlich, dass in diesem Kontext nach wie vor häufig auf stark vorstrukturierte und lehrkraftgesteuerte Lernumgebungen zurückgegriffen wird (Alexandra Schulz, 2011; Stiller, 2015; Strübe et al., 2016). Die Fokussierung auf rezeptartige Experimentieranleitungen kann den Erwerb der geforderten Kompetenzen nicht garantieren (Wahser, 2008). Eine Möglichkeit, Schülerinnen und Schüler in Experimentierumgebungen stärker in den Mittelpunkt zu stellen, ist der Einsatz von selbstgesteuerten Experimentierprozessen. In diesen werden Schülerinnen und Schülern Entscheidungsfreiheiten gegeben und somit naturwissenschaftliche Denkweisen stärker in den Fokus gerückt. Aus empirischen Studien ist bekannt, dass Schülerinnen und Schüler häufig Schwierigkeiten beim Experimentieren aufweisen (Baur, 2018; de Jong & van Joolingen, 1998; Hammann et al., 2006; Kechel, 2016). Deshalb ist eine Antizipation der Voraussetzungen sowie die Unterstützung der Lerngruppe beim selbstständigen Experimentieren von großer Relevanz (Wirth et al., 2008). Angehende Lehrkräfte sollten von diesen Schwierigkeiten wissen und in die Lage versetzt werden, zielgerichtet und kriterienbasiert adäquate experimentelle Lernumgebungen zu gestalten. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird in diesem Zusammenhang von der experimentellen Planungskompetenz von angehenden Lehrkräften gesprochen. Diese kann als ein Teil des fachdidaktischen Wissens betrachtet werden, das Lehrkräfte in einer spezifischen Planungssituation einsetzen können. Im Refined Consensus Model of PCK wird dieses Wissen als enacted PCK bezeichnet (Carlson & Daehler, 2019). Ausgehend von Erkenntnissen zur Planungskompetenz von (angehenden) Lehrkräften kann davon ausgegangen werden, dass diese im Rahmen eines universitären Seminars gefördert werden und durch Analyse schriftlicher Planungen erfasst werden kann (Baer et al., 2011; Beck et al., 2008; König et al., 2015; Schröder et al., 2020).

Zu diesem Zweck wurde im Rahmen der vorliegenden Studie ein Seminarkonzept entwickelt, in dessen Rahmen Chemie-Lehramtsstudierende selbstständig möglichst selbstgesteuerte Experimentierprozesse planten. Dazu bekamen die Studierenden zunächst eine theoretische Einführung zum Experimentieren im Chemieunterricht sowie verschiedene Materialien, die sie bei der Planung ihrer Experimentierprozesse unterstützen sollten. Die entwickelten Experimentierprozesse wurden im Rahmen des Seminars von den Kommiliton*innen durchgeführt und theoriebasiert evaluiert. Anhand der Rückmeldungen reflektierten und überarbeiteten die Studierenden dann ihre eigenen Experimentierprozesse. Dieser Zyklus aus Planung, Anwendung und Reflexion fand während des Seminars insgesamt dreimal statt.

Um die Wirksamkeit des Seminarkonzepts nachzuweisen, wurden das experimentell-fachdidaktische Wissen (Forschungsfrage 1), die domänenspezifischen Selbstwirksam-

keitserwartungen (Forschungsfrage 2) und die experimentelle Planungskompetenz (Forschungsfrage 3) vor, nach und in zwei Teilstudien sechs Monate nach dem Seminar erhoben. Darüber hinaus wurden die entwickelten Experimentierprozesse („Entwürfe“) während des Seminars (Forschungsfrage 4) gesammelt. Zur Erfassung der experimentellen Planungskompetenz wurde in Anlehnung an Schröder et al. (2017) ein Performanztest entwickelt. In diesem sollten die Studierenden zu einer festgelegten Experimentieranleitung einen möglichst selbstgesteuerten Experimentierprozess planen und verschriftlichen. Um diese Tests und die im Verlauf des Seminars geplanten Experimentierprozesse hinsichtlich ihrer Qualität zu beurteilen (Forschungsfrage 3 und 4) wurde ein theoriebasiertes Kodiermanual entwickelt. Im Rahmen der Forschungsfrage 5 wurde dieses auf seine Güte geprüft.

Die Ergebnisse zeigen signifikante Zuwächse in fast allen erhobenen Konstrukten. Das experimentell-fachdidaktische Wissen konnte langfristig mit mittleren Effekten gesteigert werden. Die domänenspezifischen Selbstwirksamkeitserwartungen wuchsen sowohl in Bezug auf die Gesamtskala als auch hinsichtlich der betrachteten Subskalen zur *Planung* und *Durchführung von Experimenten* an. Die experimentelle Planungskompetenz der Studierenden steigerte sich signifikant vom Pre- auf den Post-Test sowie vom Pre- auf den Follow-Up-Test. Die Qualität der Experimentierprozesse verändert sich dagegen nicht im Verlauf des Seminars. Neben diesen Ergebnissen konnte das konzipierte Kodiermanual im Rahmen der Studie umfassend getestet werden. Die zufriedenstellenden Koeffizienten bezüglich der Intercoder-Übereinstimmung weisen auf die Objektivität des Instruments hin. Die durch das Kategoriensystem gebildete Skala weist eine akzeptable interne Konsistenz und Split-Half-Reliabilität auf, sodass auch die Reliabilität des Instruments nachgewiesen werden konnte. Die erwartungsgemäße bivariate Korrelation mit dem experimentell-fachdidaktischen Wissen gibt erste Hinweise auf die Validität des Messinstruments. Diese konnten mit Hilfe linearer gemischter Modelle bekräftigt werden.

Insgesamt kann die Seminarkonzeption als sehr positiv beurteilt werden. Die Studierenden weisen jeweils hohe signifikante Lernzuwächse auf. Insbesondere die experimentelle Planungskompetenz konnte in hohem Maße gefördert werden. Darüber hinaus kann die Qualität der schriftlichen Planungen mit dem entwickelten Test und Kodiermanual objektiv, reliabel und valide erfasst werden. Die Einflüsse einzelner Maßnahmen und Materialien, die für das Seminarkonzept entwickelt wurden, können dabei nicht voneinander getrennt werden. Weiterführende Studien könnten an dieser Stelle ansetzen und noch genauere Einblicke darüber liefern, welche Maßnahmen für die Förderung der experimentellen Planungskompetenz besonders geeignet sind.

9 Literaturverzeichnis

Abrahams, I. & Millar, R. (2008). Does Practical Work Really Work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, *30*(14), 1945–1969. https://doi.org/10.1080/09500690701749305

Agathangelou, S. A. & Charalambous, C. Y. (2020). Is content knowledge pre-requisite of pedagogical content knowledge? An empirical investigation. *Journal of Mathematics Teacher Education*, *57*(4), 125. https://doi.org/10.1007/s10857-020-09466-0

Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung Dillingen (Hrsg.). (2009). *Chemische Experimente im kleinen Maßstab*. Akademiebericht 426. Dillingen: Akademie für Lehrerbildung und Personalbildung.

Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung Dillingen (Hrsg.). (2013). *Chemie? - Aber sicher! Experimente kennen und können!* Akademiebericht 475. Dillingen: Akademie für Lehrerbildung und Personalbildung.

Alonzo, A. C., Berry, A. & Nilsson, P. (2019). Unpacking the Complexity of Science Teachers' PCK in Action: Enacted and Personal PCK. In A. Hume, R. Cooper & A. Borowski (Hrsg.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (S. 271–286). Singapore: Springer.

Althauser, R. & Darnall, K. (2001). Enhancing critical reading and writing through peer reviews: An exploration of assisted performance. *Teaching Sociology*, *29*, 23–35.

Anthofer, S. (2017). *Förderung des fachspezifischen Professionswissens von Chemielehramtsstudierenden* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 228). Berlin: Logos.

Aprea, C. (2020). Instruktionsdesign und Unterrichtsplanung. In H. Niegemann & A. Weinberger (Hrsg.), *Handbuch Bildungstechnologie* (S. 171–189). Berlin: Springer.

Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2013). Wissenschaftliches Denken beim Experimentieren - Kompetenzdiagnose in der Sekundarstufe II. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, *11*, 7–20. Zugriff am 25.11.2019.

Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2014). Understanding Students' Experiments—What kind of support do they need in inquiry tasks? *International Journal of Science Education*, *36*(16), 2719–2749. https://doi.org/10.1080/09500693.2014.930209

Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2017). Scaffolding beim Forschenden Lernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *23*(1), 21–37. https://doi.org/10.1007/s40573-016-0053-0

Arnold, K.-H. & Koch-Priewe, B. (2010). Traditionen der Unterrichtsplanung in Deutschland. *Bildung und Erziehung*, *63*(4), 401–416.

Atkinson, R. K., Derry, S. J., Renkl, A. & Wortham, D. (2000). Learning from Examples: Instructional Principles from the Worked Examples Research. *Review of educational research*, *70*(2), 181–214. https://doi.org/10.3102/00346543070002181

Atkinson, R. K., Renkl, A. & Merrill, M. M. (2003). Transitioning From Studying Examples to Solving Problems. Effects of Self-Explanation Prompts and Fading

Worked-Out Steps. *Journal of Educational Psychology*, *95*(4), 774–783. https://doi.org/10.1037/0022-0663.95.4.774

Azevedo, R. (2005). Using Hypermedia as a Metacognitive Tool for Enhancing Student Learning? The Role of Self-Regulated Learning. *Educational Psychologist*, *40*(4), 199–209.

Bach, A. (2013). *Kompetenzentwicklung im Schulpraktikum. Ausmaß und zeitliche Stabilität von Lerneffekten hochschulischer Praxisphasen* (Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie, Bd. 87, 1. Aufl.). Münster: Waxmann.

Backes, A., Sumfleth, E. & Tepner, O. (2012). *Test zum experimentell-fachdidaktischen Wissen von Chemielehrkräften. Unveröffentlichtes Manuskript*, Essen.

Baer, M., Kocher, M., Wyss, C., Guldimann, T., Larcher, S. & Dörr, G. (2011). Lehrerbildung und Praxiserfahrung im ersten Berufsjahr und ihre Wirkung auf die Unterrichtskompetenzen von Studierenden und jungen Lehrpersonen im Berufseinstieg. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *14*(1), 85–117. https://doi.org/10.1007/s11618-011-0168-5

Bakenhus, S., Wernke, S. & Zierer, K. (2017). Welche Planungsüberlegungen tätigen berufserfahrene Lehrkräfte, wenn sie unter nicht vertrauten Rahmenbedingungen Unterricht vorbereiten müssen? In K. Zierer & S. Wernke (Hrsg.), *Die Unterrichtsplanung: Ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?! Status Quo und Perspektiven aus Sicht der empirischen Forschung* (S. 178–194). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Baker, K. M. (2016). Peer review as a strategy for improving students' writing process. *Active Learning in Higher Education*, *17*(3), 179–192. https://doi.org/10.1177/1469787416654794

Bannert, M. (2003). Effekte metakognitiver Lernhilfen auf den Wissenserwerb in vernetzten Lernumgebungen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, *17*(1), 13–25. https://doi.org/10.1024//1010-0652.17.1.13

Bannert, M. (2009). Promoting Self-Regulated Learning Through Prompts. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, *23*(2), 139–145. https://doi.org/10.1024/1010-0652.23.2.139

Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen* (Springer-Lehrbuch). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-29460-0

Barton, K. (2020). *MUMIn. Multi-Model Inference* (R package version 1.43.17). Verfügbar unter: https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn

Barzel, B., Reinhoffer, B. & Schrenk, M. (2012). Das Experimentieren im Unterricht. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 103–127). Münster: Waxmann.

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, *67*(1). https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01

Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *9*(4), 469–520.

Baur, A. (2018). Fehler, Fehlkonzepte und spezifische Vorgehensweisen von Schülerinnen und Schülern beim Experimentieren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *24*(1), 115–129. https://doi.org/10.1007/s40573-018-0078-7

Beck, E., Baer, M., Guldimann, T., Bischoff, S., Brühwiler, C. & Müller, P. (2008). *Adaptive Lehrkompetenz. Analyse und Struktur, Veränderbarkeit und Wirkung handlungssteuernden Lehrerwissens* (Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie, Bd. 63). Münster: Waxmann.

Bell, R. L., Smetana, L. & Binns, I. (2005). Simplifying Inquiry Instruction: Assessing the Inquiry Level of Classroom Activities. *The Science Teacher*, *72*(7), 30–33.

Berkovits, I., Hancock, G. R. & Nevitt, J. (2000). Bootstrap Resampling Approaches for Repeated Measure Designs: Relative Robustness to Sphericity and Normality Violations. *Educational and Psychological Measurement*, *60*(6), 877–892. https://doi.org/10.1177/00131640021970961

Berry, A., Friedrichsen, P. & Loughran, J. (Eds.). (2015). *Re-examining pedagogical content knowledge in science education. October 2012, … Colorado Springs, USA, … PCK Summit, a working conference* (Teaching and learning in science series, 1. publ). New York, NY: Routledge.

Berry, D. C. & Broadbent, D. E. (1987). Explanation and Verbalization in a Computer-Assisted Search Task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *39*(4), 585–609. https://doi.org/10.1080/14640748708401804

Binnewies, M., Finze, M., Jäckel, M., Schmidt, P., Willner, H. & Rayner-Canham, G. (2016). *Allgemeine und Anorganische Chemie*. Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-45067-3

Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A. & Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability?: A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science Education*, *94*(4), 577–616. https://doi.org/10.1002/sce.20390

Blömeke, S., Houang, R. T. & Suhl, U. (2011). TEDS-M: Diagnosing teacher knowledge by applying multidimensional item response theory and multiple-group models. *IERI Monograph Series: Issues and Methodologies in Large-Scale Assessments*, *4*, 109–126.

Blömeke, S. & König, J. (2011). Profile im Professionswissen zur Unterrichtsplanung bei Sekundarstufenlehrkräften. In K.-H. Arnold, T. Bohl & K. Zierer (Hrsg.), *Thementeil: Entwicklung und Weiterentwicklung allgemeindidaktischer Modelle der Unterrichtsplanung* (Jahrbuch für allgemeine Didaktik, Bd. 2011, S. 11–30). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.

Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning: Where we are today. *International Journal of Educational Research*, *31*(6), 445–457.

Bohrmann, M. (2017). *Zur Förderung des Verständnisses der Variablenkontrolle im naturwissenschaftlichen Sachunterricht* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 235). Berlin: Logos.

Börlin, J. (2012). *Das Experiment als Lerngelegenheit. Vom interkulturellen Vergleich des Physikunterrichts zu Merkmalen seiner Qualität* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 132). Berlin: Logos.

Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler* (4. Aufl.). Heidelberg: Springer.

Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (Springer-Lehrbuch, 7. Aufl.). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12770-0

Brandstätter, V., Schüler, J., Puca, R. M. & Lozo, L. (2013). *Motivation und Emotion*. Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30150-6

Breitmaier, E. & Jung, G. (2012). *Organische Chemie. Grundlagen, Verbindungsklassen, Reaktionen, Konzepte, Molekülstruktur, Naturstoffe, Syntheseplanung, Nachhaltigkeit* (7. Aufl.). Stuttgart: Thieme.

Bromme, R. (1981). *Das Denken von Lehrern bei der Unterrichtsvorbereitung. Eine empir. Unters. zu kognitiven Prozessen von Mathematiklehrern*. Weinheim: Beltz.

Bromme, R. (1995). Was ist "pedagogical content knowledge"? Kritische Anmerkungen zu einem fruchtbaren Forschungsprogramm. In S. Hopmann & K. Riquarts (Hrsg.), Didaktik und/oder Curriculum. Grundprobleme einer international vergleichenden Didaktik. *Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft. 33*, 105–113 [Themenheft]. Weinheim: Beltz.

Bromme, R. (1997). Kompetenzen, Funktionen und unterrichtliches Handeln des Lehrers. *Psychologie des Unterrichts und der Schule*, (3), 177–212.

Brophy, J. (2000). *Teaching. Educational Practices Series - 1*.

Buck, L. B., Bretz, S. L. & Towns, M. (2008). Characterizing the Level of Inquiry in the Undergraduate Laboratory. *Journal of College Science Teaching*, *38*(1), 52–58.

Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion* (PS Psychologie, 3. Aufl.). München: Pearson Studium.

Bühner, M. & Ziegler, M. (2017). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler* (2. Aufl.). Hallbergmoos: Pearson.

Bullock, M. (1993). *Scientific thinking. Are young children really so bad?* (Paper / Max-Planck-Institut für Psychologische Forschung <München>, 1993,8). München: Max Planck Institute for Psychological Research.

Bunterm, T., Lee, K., Ng Lan Kong, J., Srikoon, S., Vangpoomyai, P., Rattanavongsa, J. et al. (2014). Do Different Levels of Inquiry Lead to Different Learning Outcomes? A comparison between guided and structured inquiry. *International Journal of Science Education*, *36*(12), 1937–1959. https://doi.org/10.1080/09500693.2014.886347

Burzan, N. (2015). *Quantitative Methoden kompakt* (UTB Sozialwissenschaften, Kultur- und Kommunikationswissenschaft, Bd. 3765). Konstanz: UVK.

Capps, D. K. & Crawford, B. A. (2013). Inquiry-Based Instruction and Teaching About Nature of Science: Are They Happening? *Journal of Science Teacher Education*, *24*(3), 497–526. https://doi.org/10.1007/s10972-012-9314-z

Capps, D. K., Crawford, B. A. & Constas, M. A. (2012). A Review of Empirical Literature on Inquiry Professional Development: Alignment with Best Practices and a Critique of the Findings. *Journal of Science Teacher Education*, *23*(3), 291–318. https://doi.org/10.1007/s10972-012-9275-2

Carlson, J. & Daehler, K. R. (2019). The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education. In A. Hume, R. Cooper & A. Borowski (Hrsg.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science.* Singapore: Springer.

Chalmers, A. F. & Bergemann, N. (Hrsg.). (2007). *Wege der Wissenschaft. Einführung in die Wissenschaftstheorie* (6. Aufl.). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-49491-1

Champely, S. (2020). *pwr. Basic Functions for Power Analysis* (R package version 1.3-0). Verfügbar unter: https://CRAN.R-project.org/package=pwr

Chan, K. K. H. & Hume, A. (2019). Towards a Consensus Model: Literature Review of How Science Teachers' Pedagogical Content Is Investigated in Empirical Studies. In A. Hume, R. Cooper & A. Borowski (Hrsg.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (S. 3–76). Singapore: Springer.

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. https://doi.org/10.1111/1467-8624.00081

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. https://doi.org/10.1002/sce.10001

Cho, K. & MacArthur, C. (2010). Student Revision with Peer and Expert Reviewing. *Learning and Instruction*, *20*(4), 328–338.

Cho, Y. H. & Cho, K. (2011). Peer reviewers learn from giving comments. *Instructional Science*, *39*(5), 629–643. https://doi.org/10.1007/s11251-010-9146-1

Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Hoboken: Taylor and Francis. Retrieved from http://gbv.eblib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1192162

Cohen, J. (1992). A Power Primer. *Psychological Bulletin*, *112*(1), 155–159.

De Jong, T. & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of educational research*, *68*(2), 179. https://doi.org/10.2307/1170753

Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*.

Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, *55*, 68–78.

Diaz-Bone, R. & Weischer, C. (2015). *Methoden-Lexikon für die Sozialwissenschaften*. Wiesbaden: Springer VS. Verfügbar unter: http://gbv.eblib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1965474

Dickmann, M. (2016). *Messung von Experimentierfähigkeiten. Validierungsstudien zur Qualität eines computerbasierten Testverfahrens* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 210). Berlin: Logos.

Ditton, H. (2000). Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung in Schule und Unterricht. Ein Überblick zum Stand der empirischen Forschung. In A. Helmke, W. Hornstein & E. Terhart (Hrsg.), *Qualität und Qualitätssicherung im Bildungsbereich: Schule, Sozialpädagogik, Hochschule* (Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft, Bd. 41, S. 73–92). Weinheim: Beltz.

Domin, D. S. (1999). A Review of Laboratory Instruction Styles. *Journal of Chemical Education*, *76*(4), 543–547. https://doi.org/10.1021/ed076p543

Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5

Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M. & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction - A Framework for Improving Teaching and Learning Science. In D. Jorde & J. Dillon (Hrsg.), *Science Education Research an dPractice in Europe: Retrospective and Prospective* (S. 13–37). Sense Publishers.

Duit, R., Treagust, D. & Widodo, A. (2008). Teaching scince for coneptual change: Theory and practice. In S. Vosniadou (Hrsg.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (S. 629–646). New York: Routledge.

Dunbar, K. & Klahr, D. (1989). Developmental Differences in Scientific Discovery Processes. In D. Klahr & K. Kotovsky (Hrsg.), *Complex information processing: The impact of Herbert A. Simon* (S. 109–143). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Ehlert, L. & Tepner, O. (2021). Wirksamkeit einer Fortbildung zum selbstgesteuerten Experimentieren. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch* (Bd. 41, S. 430–433).

Ehmer, M. (2008). *Förderung von kognitiven Fähigkeiten beim Experimentieren im Biologieunterricht der 6. Klasse. Eine Untersuchung zur Wirksamkeit von methodischem, epistemologischem und negativem Wissen*.

Emden, M. (2011). *Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens. Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 118). Berlin: Logos.

Emden, M. & Koenen, J. (2016). Hilfekarten als Lernimpulse. In J. Koenen, M. Emden & E. Sumfleth (Hrsg.), *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung* (Ganz In - Materialien für die Praxis, S. 25–31). Münster: Waxmann.

Emden, M., Koenen, J. & Sumfleth, E. (2016). Fördern im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung - Experimentieren im Inquiry-Ansatz. In J. Koenen, M. Emden & E. Sumfleth (Hrsg.), *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung* (Ganz In - Materialien für die Praxis, S. 9–18). Münster: Waxmann.

Engeln, K. (2004). *Schülerlabors: Authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken* (Studien zum Physiklernen, Bd. 36). Berlin: Logos.

Fechner, S. (2009). *Effects of Context-oriented Learning on Student Interest and Achievement in Chemistry Education* (Studien zum Physik- und Chemielernen, vol. 95). Berlin: Logos.

Ferdinand, P. (2007). *Selbstgesteuertes Lernen in den Naturwissenschaften. Eine Interventionsstudie zu den kognitiven und motivationalen Effekten eines Blended Learning Ansatzes* (Studien zur Schulpädagogik, Bd. 52). Hamburg: Kovač.

Field, A., Miles, J. & Field, Z. (2013). *Discovering statistics using R* (Reprint). Los Angeles, Calif.: Sage.

Fitzgerald, M., Danaia, L. & McKinnon, D. H. (2019). Barriers Inhibiting Inquiry-Based Science Teaching and Potential Solutions: Perceptions of Positively Inclined Early Adopters. *Research in Science Education*, *49*(2), 543–566. https://doi.org/10.1007/s11165-017-9623-5

Forschergruppe Kassel. (2006). Archimedes und die Sache mit der Badewanne. *Diagnostizieren und Fördern: Stärken entdecken - Können entwickeln*, *24*, 84–88.

Forschergruppe Kassel. (2007). Schritt für Schritt zur Lösung. Differenzierung durch Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. *Naturwissenschaften im Unterricht*, *18*(99), 42–45.

Franke-Braun, G., Schmidt-Weigand, F., Stäudel, L. & Wodzinski, R. (2008). Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. Ein besonderes Aufgabenformat zur kognitiven Aktivierung der Schülerinnen und Schüler und zur Intensivierung der sachbezogenen Kommunikation. In Kasseler Forschergruppe (Hrsg.), *Lernumgebungen auf dem Prüfstand. Zwischenergebnisse aus den Forschungsprojekten* (S. 27–42). Kassel: Kassel Univ. Press.

Frenzel, A. C., Goetz, T., Lüdtke, O., Pekrun, R. & Sutton, R. E. (2009). Emotional transmission in the classroom: Exploring the relationship between teacher and student enjoyment. *Journal of Educational Psychology*, *101*(3), 705–716. https://doi.org/10.1037/a0014695

Frischknecht-Tobler, U. & Labudde, P. (2019). Beobachten und Experimentieren. In P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaft. 1.- 9. Schuljahr* (3. Aufl., S. 135–150). Stuttgart: UTB.

Früh, W. (2017). *Inhaltsanalyse. Theorie und Praxis* (utb-studi-e-book, Bd. 2501, 9. Aufl.). Konstanz: UVK.

Funke, J. & Fritz, A. (1995). Über Planen, Problemlösen und Handeln. In J. Funke & A. Fritz (Hrsg.), *Neue Konzepte und Instrumente zur Planungsdiagnostik* (S. 1–45). Bonn: Deutscher Psychologen Verlag.

Funke, J. & Glodowski, A.-S. (1990). Planen und Problemlösen: Überlegungen zur neuropsychologischen Diagnostik von Basiskompetenzen beim Planen. *Zeitschrift für Neuropsychologie*, (2), 139–148.

Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H. & Briggs, D. C. (2012). Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching. *Review of educational research*, *82*(3), 300–329. https://doi.org/10.3102/0034654312457206

Gamer, M., Lemon, J., Fellows, I. & Singh Puspendra.. *irr. Various Coefficients of Interrater Reliability and Agreement.* (R package version 0.84.1). Verfügbar unter: https://CRAN.R-project.org/package=irr

Gassmann, C. (2013). *Erlebte Aufgabenschwierigkeit bei der Unterrichtsplanung. Eine qualitativ-inhaltsanalytische Studie zu den Praktikumsphasen der universitären Lehrerbildung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-00243-5

Gebhard, U., Höttecke, D. & Rehm, M. (2017). *Pädagogik der Naturwissenschaften. Ein Studienbuch* (Lehrbuch). Wiesbaden: Springer VS.

Glaser, R., Schauble, L., Raghavan, K. & Zeitz, C. (1992). Scientific Reasoning Across Different Domains. In E. de Corte, M. C. Linn, H. Mandl & L. Verschaffel (Hrsg.), *Computer-based learning environments and problem solving* (NATO ASI series. Series F, Computer and system sciences, vol. 84, S. 345–371). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-77228-3_16

Gößling, J. M. (2010). *Selbständig entdeckendes Experimentieren. Lernwirksamkeit der Strategieanwendung*. Dissertation. Universität Duisburg-Essen, Duisburg-Essen.

Grabosch, A. (2020). *Handlungskompetenz und Deutungsmuster. Empirische Analysen zu praktischen Elementen in der Lehrer*innenbildung* (Studien zur Professionsforschung und Lehrerbildung).

Gramzow, Y., Riese, J. & Reinhold, P. (2013). Modellierung fachdidaktischen Wissens angehender Physiklehrkräfte. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *19*, 7–30.

Greimel-Fuhrmann, B. (2017). Elemente der Unterrichtsplanung. Entwicklung einer Grundstruktur auf Basis lernpsychologischer Überlegungen und empirischer Ergebnisse. In K. Zierer & S. Wernke (Hrsg.), *Die Unterrichtsplanung: Ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?! Status Quo und Perspektiven aus Sicht der empirischen Forschung.* Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Grube, C. R. (2010). *Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. Untersuchung der Struktur und Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I*. Dissertation. Universität Kassel, Kassel.

Gut-Glanzmann, C. & Mayer, J. (2018). Experimentelle Kompetenz. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 121–140). Berlin: Springer.

Gyllenpalm, J. & Wickman, P.-O. (2011). "Experiments" and the inquiry emphasis conflation in science teacher education. *Science Education*, *95*(5), 908–926. https://doi.org/10.1002/sce.20446

Haas, A. (1998). *Unterrichtsplanung im Alltag. Eine empirische Untersuchung zum Planungshandeln von Hauptschul-, Realschul- und Gymnasiallehrern* (Theorie und Forschung, Bd. 540). Regensburg: Roderer.

Haas, A. (2005). Unterrichtsplanung im Alltag von Lehrerinnen und Lehrern. In A. A. Huber (Hrsg.), *Vom Wissen zum Handeln. Ansätze zur Überwindung der Theorie-Praxis-Kluft in Schule und Erwachsenenbildung* (1. Aufl., S. 5–19). Tübingen: Huber.

Habig, S., van Vorst, H. & Sumfleth, E. (2018). Merkmale kontextualisierter Lernaufgaben und ihre Wirkung auf das situationale Interesse und die Lernleistung von Schülerinnen und Schülern. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *24*(1), 99–114. https://doi.org/10.1007/s40573-018-0077-8

Hammann, M. (2004). Kompetenzentwicklungsmodelle. Merkmale und ihre Bedeutung - dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, *57*, 196–203.

Hammann, M., Phan, T. T. H. & Bayrhuber, H. (2007). Experimentieren als Problemlösen: Lässt sich das SDDS-Modell nutzen um unterschiedliche Dimensionen beim Experimentieren zu messen? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *10*(Sonderheft 8), 33–49.

Hammann, M., Phan, T. T. H., Ehmer, M. & Bayrhuber, H. (2006). Fehlerfrei Experimentieren. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, *59*(5), 292–299.

Hänze, M., Schmidt-Weigand, F. & Blum, S. (2007). Mit gestuften Lernhilfen im naturwissenschaftlichen Unterricht selbstständig lernen und arbeiten. In K. Rabenstein & S. Reh (Hrsg.), *Kooperatives und selbstständiges Arbeiten von Schülern. Zur Qualitätsentwicklung von Unterricht* (1. Aufl., S. 197–208). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-531-90418-4_10

Hänze, M., Schmidt-Weigand, F. & Stäudel, L. (2010). Gestufte Lernhilfen. In S. Boller & R. Lau (Hrsg.), *Innere Differenzierung in der Sekundarstufe II: Ein Praxishandbuch für Lehrerinnen und Lehrer der Sekundarstufe II* (S. 63–73). Weinheim: Beltz.

Harlen, W. & Wake, R. (1999). *Effective teaching of science. A review of research* (SCRE publication Using research series, vol. 21). Glasgow: Scottish Council for Research in Education.

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.

Hart, C., Mulhall, P., Berry Amanda, 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. (2012). Validität. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (Springer-Lehrbuch, 2. Aufl., S. 143–171). Berlin: Springer.

Harwell, M. R., Rubinstein, E. N., Hayes, W. S. & Olds, C. C. (1992). Summarizing Monte Carlo Results in Methodological Research: The One- and Two-Factor Fixed Effects ANOVA Cases. *Journal of Educational Statistics*, *17*(4), 315–339.

Hasenkamp, A., Windt, A. & Rumann, S. (2015). Entwicklung der Sachunterrichtsplanung bei angehenden Lehrkräften. In S. Bernholt (Hrsg.), *Heterogenität und Diversität - Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht* (Bd. 35, S. 600–602). Kiel: IPN-Verlag.

Hattie, J., Beywl, W. & Zierer, K. (2014). *Lernen sichtbar machen* (2. Aufl.). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.

Hattie, J. & Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Review of educational research*, *77*(1), 81–112. https://doi.org/10.3102/003465430298487

Hattie, J. & Wollenschläger, M. (2014). A conceptualization of feedback. In H. Ditton & A. Müller (eds.), *Feedback und Rückmeldungen. Theoretische Grundlagen, empirische Befunde, praktische Anwendungsfelder* (135-149). Münster: Waxmann.

Hayes, A. F. & Krippendorff, K. (2007). Answering the Call for a Standard Reliability Measure for Coding Data. *Communication Methods and Measures*, *1*(1), 77–89. https://doi.org/10.1080/19312450709336664

Heimann, P., Otto, G. & Schulz, W. (1965). *Unterricht–Analyse und Planung*. Hannover: Schroedel.

Helmke, A. (2007). *Was wissen wir über guten Unterricht? Wissenschaftliche Erkenntnisse zur Unterrichtsforschung und Konsequenzen für die Unterrichtsentwicklung* (S. 1–17).

Helmke, A. (2009). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts* (1. Auflage). Franz Emanuel Weinert gewidmet. Seelze-Velber: Klett/Kallmeyer.

Helmke, A. & Schrader. (2008). Merkmale der Unterrichtsqualität. *Seminar*, (3).

Hermanns, R. & Wambach, H. (1984). Funktionen des Experiments im Chemieunterricht. *Der Chemieunterricht*, *15*(2), 29–53.

Hilbert, S., Stadler, M., Lindl, A., Naumann, F. & Bühner, M. (2019). Analyzing Longitudinal Intervention Studies with Linear Mixed Models. *TPM*, *26*(1), 101–119.

Hilfert-Rüppell, D., Looß, M., Müller, R., Höner, K., Pietzner, V., Strahl, A. et al. (2009). Fehlerfrei experimentieren? - Wie Studierende ein Experiment planen. In U. Harms, F. X. Bogner, D. Graf, H. Gropengießer, D. Krüger, J. Mayer et al. (Hrsg.), *Heterogenität erfassen - individuell fördern im Biologieunterricht. Internationale Tagung der FDdB* (S. 196–197). Verfügbar unter: https://www.uni-vechta.de/fileadmin/user_upload/Biologie/Mitarbeiter_innen/Ewig__Michael/Publikationen/FDdb_Tagungsband.pdf

Hmelo-Silver, C. E. (2006). Design principles for scaffolding technologybased inquiry. In A. M. O'Donnell, C. E. Hmelo-Silver & G. Erkens (Eds.), *Collaborative learning, reasoning, and technology* (The Rutgers invitational symposium on education series, S. 147–170). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G. & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, *42*(2), 99–107. https://doi.org/10.1080/00461520701263368

Hodson, D. (1990). A Critical Look at Practical Work in School Science. *School Science Review*, *71*(256), 33–40.

Hodson, D. (1993). Re-thinking Old Ways: Towards A More Critical Approach To Practical Work In School Science. *Studies in Science Education*, *22*(1), 85–142. https://doi.org/10.1080/03057269308560022

Hodson, D. (1996). Practical work in school science. Exploring some directions for change. *International Journal of Science Education*, *18*(7), 755–760. https://doi.org/10.1080/0950069960180702

Hof, S. (2011). *Wissenschaftsmethodischer Kompetenzerwerb durch forschendes Lernen. Entwicklung und Evaluation einer Interventionsstudie*. Zugl.: Kassel, Univ., Diss., 2010. Kassel: Kassel Univ. 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 26.01.2018. Verfügbar unter: http://www.bcp.fu-berlin.de/biologie/arbeitsgruppen/didaktik/Erkenntnisweg/2008/2008_05_Hof.pdf

Hofstein, A. (2004). The Laboratory in Chemistry Education. Thirty Years of Experience with Developments, Implementation, and Research. *Chem. Educ. Res. Pract.*, *5*(3), 247–264. https://doi.org/10.1039/B4RP90027H

Hofstein, A. & Kempa, R. F. (1985). Motivating strategies in science education: Attempt at an analysis. *European Journal of Science Education*, *7*(3), 221–229. https://doi.org/10.1080/0140528850070301

Hofstein, A., Kipnis, M. & Abrahams, I. (2013). How to Learn in and from the Chemistry Laboratory. In A. Hofstein & I. Eilks (Eds.), *Teaching chemistry, a studybook. A practical guide and textbook for student teachers, teacher trainees and teachers* (Other Books, S. 153–182). Rotterdam: Sense Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6209-140-5_6

Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of educational research*, *52*(2), 201–217.

Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education. Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, *88*(1), 28–54. https://doi.org/10.1002/sce.10106

Hofstein, A., Shore, R. & Kipnis, M. (2004). RESEARCH REPORT. Providing high school chemistry students with opportunities to develop learning skills in an inquiry-type laboratory: a case study. *International Journal of Science Education*, *26*(1), 47–62. https://doi.org/10.1080/0950069032000070342

Hopf, M. (2007). *Problemorientierte Schülerexperimente* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 68). Berlin: Logos.

Horstendahl, M., Fischer, H. E. & Rolf, R. (2000). Konzeptionelle und motivationale Aspekte der Handlungsregulation von Schülerinnen und Schülern im Experimentalunterricht der Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *6*, 7–25.

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*(1), 127–139. https://doi.org/10.1007/s40573-015-0030-z

Janich, P. (1995). Experiment. In J. Mittelstraß (Hrsg.), *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie* (Bd. 1, 2., S. 621–622). Weimar: J.B. Metzler.

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. https://doi.org/10.1080/09500693.2014.1000426

Katchevich, D., Mamlok-Naaman, R. & Hofstein, A. (2014). The Characteristics of Open-Ended Inquiry-Type Chemistry Experiments that Enable Argumentative Discourse. *Sisyphus - Journal of Education*, *2*(2), 74–99.

Kattmann, U. (2005). Lernen mit anthropomorphen Vorstellungen? - Ergebnisse von Untersuchungen zur Didaktischen Rekonstruktion in der Biologie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *11*, 165–174.

Kattmann, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (Springer-Lehrbuch, S. 93–104). Berlin: Springer.

Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *3*(3), 3–18.

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*.

Kechel, J.-H. (2016). *Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren. Eine qualitative Studie am Beispiel einer Experimentieraufgabe zum Hooke'schen Gesetz* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 214). Berlin: Logos.

Khagy, S. (2020). *Ergänzung und Analyse eines Kodiermanuals zur Erfassung der Qualität schriftlicher Planungen von Chemie-Lehramtsstudierenden bezüglich selbstgesteuerter Experimentierprozesse*. Unveröffentliche schriftliche Hausarbeit. Universität Regensburg, Regensburg.

Kipnis, M. & Hofstein, A. (2008). The Inquiry Laboratory as a Source for Development of Metacognitive Skills. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *6*(3), 601–627. https://doi.org/10.1007/s10763-007-9066-y

Kirsch, A. (2020). Qualitätsstandards für die Unterrichtsplanung im Fach Sachunterricht, *3*(1), 406–422. Herausforderung Lehrer*innenbildung - Zeitschrift zur Konzeption, Gestaltung und Diskussion. https://doi.org/10.4119/HLZ-2557

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. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1

Kirschner, S., Sczudlek, M., Tepner, O., Borowski, A., Fischer, H. E., Lenske, G. et al. (2017). Professionswissen in den Naturwissenschaften (ProwiN). In C. Gräsel & K. Trempler (Hrsg.), *Entwicklung von Professionalität pädagogischen Personals. Interdisziplinäre Betrachtungen, Befunde und Perspektiven* (S. 113–130). Wiesbaden: Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-07274-2_7

Klafki, W. (1958). Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung. *Die Deutsche Schule*, *50*(10), 450–471.

Klafki, W. (1962). Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung. In H. Roth & A. Blumenthal (Hrsg.), *Didaktische Analyse* (Auswahl. Grundlegende Aufsätze aus der Zeitschrift die deutsche Schule, Bd. 1, S. 5–34).

Klafki, W. (1985). *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik: Beiträge zur kritisch-konstruktiven Didaktik*. Weinheim: Beltz. Verfügbar unter: https://ixtheo.de/record/027392600

Klafki, W. (2007). *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik*. Weinheim u.a.: Beltz.

Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual Space Search During Scientific Reasoning. *Cognitive Science*, *12*(1), 1–48. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1201_1

Klahr, D. & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction: effect of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, *15*(10), 661–667. https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00737.x

Kliebisch, U. W. & Meloefski, R. (2006). *LehrerSein. Pädagogik für die Praxis* (2., unveränd. Aufl.). Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.

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. (2006). Lehrerbelastung und Unterrichtsqualität aus der Perspektive von Lehrenden und Lernenden. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, *20*(3), 161–173.

Klusmann, U. (2011). Allgemeine berufliche Motivation und Selbstregulation. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 277–294). Münster: Waxmann.

Kobarg, M., Thoma, G.-B., Dalehefte, I. M., Seidel, T. & Prenzel, M. (2011). Lernwirksame Unterrichtsbedingungen in der Unterrichtsplanung berücksichtigen. In K.-H. Arnold, T. Bohl & K. Zierer (Hrsg.), *Thementeil: Entwicklung und Weiterentwicklung allgemeindidaktischer Modelle der Unterrichtsplanung* (Jahrbuch für allgemeine Didaktik, Bd. 2011, S. 46–58). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.

Kobl, C. (2021). *Förderung und Erfassung der Reflexionskompetenz im Fach Chemie* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 312). Berlin: Logos.

Koenen, J. (2016). Gestaltung von Experimentiersituationen - Wahl verschiedener Öffnungsgrade. In J. Koenen, M. Emden & E. Sumfleth (Hrsg.), *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung* (Ganz In - Materialien für die Praxis, S. 19–24). Münster: Waxmann.

Koenen, J., Emden, M. & Sumfleth, E. (2017). Naturwissenschaftlich-experimentelles Arbeiten. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *23*(1), 81–98. https://doi.org/10.1007/s40573-017-0056-5

Koenen, J. & Kirstein, D. (2017). Ein unbekanntes Gas identifizieren. Öffnungsgrade von Experimentiersituationen. *Naturwissenschaften im Unterricht/Chemie*, *28*(158), 14–18.

Komorek, M. & Kattmann, U. (2009). The model of educational reconstruction. In S. Mikelskis-Seifert, U. Ringelband & M. Brückmann (Hrsg.), *Four decades of research in science education – Fromcurriculum development to quality improvement* (S. 171–188). Münster, Germany: Waxmann.

König, J. & Blömeke, S. (2009). Pädagogisches Wissen von angehenden Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *12*(3), 499–527. https://doi.org/10.1007/s11618-009-0085-z

König, J., Bremerich-Vos, A., Buchholtz, C., Lammerding, S., Strauß, S., Fladung, I. et al. (2017). Die Bedeutung des Professionswissens von Referendarinnen und Referendaren mit Fach Deutsch für ihre Planungskompetenz (PlanvoLL-D). In K. Zierer & S. Wernke (Hrsg.), *Die Unterrichtsplanung: Ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?! Status Quo und Perspektiven aus Sicht der empirischen Forschung* (S. 121–133). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

König, J., Buchholtz, C. & Dohmen, D. (2015). Analyse von schriftlichen Unterrichtsplanungen: Empirische Befunde zur didaktischen Adaptivität als Aspekt der Planungskompetenz angehender Lehrkräfte. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *18*(2), 375–404. https://doi.org/10.1007/s11618-015-0625-7

Konrad, K. & Traub, S. (2016). *Kooperatives Lernen. Theorie und Praxis in Schule, Hochschule und Erwachsenenbildung* (7. Aufl.). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren GmbH.

Korneck, F., Lamprecht, J., Wodzinski, R. & Schecker, H. (2010). *Quereinsteiger in das Lehramt Physik - Lage und Perspektiven der Physiklehrerausbildung in Deutschland*. Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG).

Krause, U.-M. & Stark, R. (2006). Vorwissen aktivieren. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 38–49). Göttingen: Hogrefe.

Krauss, S., Brunner, M., Kunter, M., Baumert, J., Blum, W., Neubrand, M. et al. (2008). Pedagogical content knowledge and content knowledge of secondary mathematics teachers. *Journal of Educational Psychology*, *100*(3), 716–725. https://doi.org/10.1037/0022-0663.100.3.716

Krauss, S., Neubrand, M., Blum, W., Baumert, J., Brunner, M., Kunter, M. et al. (2008). Die Untersuchung des professionellen Wissens deutscher Mathematik-Lehrerinnen und -Lehrer im Rahmen der COACTIV-Studie. *Journal für Mathematik-Didaktik (JMD)*, *29*(3/4), 223–258.

Kremer, K., Möller, A., Arnold, J. & Mayer, J. (2019). Kompetenzförderung beim Experimentieren. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann & J. Zabel (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (S. 113–128). Berlin: Springer.

Krippendorff, K. (2004). Reliability in Content Analysis. Some Common Misconceptions and Recommendations. *Human Communication Research*, *30*(3), 411–433.

Krippendorff, K. (2011). *Computing Krippendorff's Alpha-Reliability*. Verfügbar unter: https://repository.upenn.edu/asc_papers/43

Kron, F. W. (2008). *Grundwissen Didaktik* (UTB Pädagogik, Bd. 8073, 5. Aufl.). München: Reinhardt.

Kultusministerkonferenz. (2019, 14. Juni). *Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht. (RISU) Empfehlung der Kultusministerkonferenz* (Beschluss der KMK vom 09.09.1994 i. d. F. vom 14. Juni 2019). Verfügbar unter: https://www.kmk.org/service/servicebereich-schule/sicherheit-im-unterricht.html

Kultusministerkonferenz. (2020). Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife. Zugriff am 22.06.2020.

Künsting, J. (2007). *Effekte von Zielqualität und Zielspezifität auf selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren*. Dissertation. Universität Duisburg-Essen, Essen.

Künsting, J., Thillmann, H., Wirth, J., Fischer, H. E. & Leutner, D. (2008). Strategisches Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, *1*, 1–15.

Kunter, M. (2011). Motivation als Teil der professionellen Kompetenz - Forschungsbefunde zum Enthusiasmus von Lehrkräften. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 259–275). Münster: Waxmann.

Kunter, M. & Baumert, J. (2011). Das COACTIV-Forschungsprogramm zur Untersuchung professioneller Kompetenz von Lehrkräften - Zusammenfassung und Diskussion. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 345–366). Münster: Waxmann.

Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B. & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, *82*(13). https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13

Lamprecht, J. (2011). *Ausbildungswege und Komponenten professioneller Handlungskompetenz. Vergleich von Quereinsteigern mit Lehramtsabsolventen für Gymnasien im Fach Physik* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 125). Berlin: Logos.

Landmann, M., Perels, F., Otte, B., Schnick-Vollmer, K. & Schmitz, B. (2015). Selbstregulation und selbstreguliertes Lernen. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 45–65). Berlin: Springer.

Latscha, H. P., Kazmaier, U. & Klein, H. A. (2016). *Organische Chemie. Chemie-Basiswissen II* (Springer-Lehrbuch, 7. Auflage). Berlin: Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-46180-8

Lawrence, M. A. (2016). *ez. Easy Analysis and Visualization of Factorial Experiments* (R package version 4.4-0). Verfügbar unter: https://CRAN.R-project.org/package=ez

Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, *39*(6), 497–521. https://doi.org/10.1002/tea.10034

Lederman, N. G. & Lederman, J. S. (2012). Nature of Scientific Knowledge and Scientific Inquiry. Building Instructional Capacity Through Professional Development. In

B. J. Fraser, K. Tobin & C. J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (Springer International Handbooks of Education, vol. 24, S. 335–359). Dordrecht: Springer Science+Business Media B.V.

Leonhart, R. (2008). *Psychologische Methodenlehre / Statistik* (UTB Basics, Bd. 3064). München, Basel: Ernst Reinhardt Verlag. Verfügbar unter: http://www.utb-studi-e-book.de/9783838530642

Leutner, D. (1993). Guided discovery learning with computer-based simulation games: Effects of adaptive and non-adaptive instructional support. *Learning and Instruction*, *3*(2), 113–132. https://doi.org/10.1016/0959-4752(93)90011-N

Lienert, G. A. & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse* (Grundlagen Psychologie, 6. Aufl.). Weinheim: Beltz.

Lipowsky, F. (2015). Unterricht. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 70–105). Berlin: Springer.

Lunetta, V. N. (1998). The School Science Laboratory. Historical Perspectives and Contexts for Contemporary Teaching. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (Kluwer international handbooks of education, vol. 2, S. 249–262). Dordrecht: Kluwer. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4940-2_16

Maiseyenka, V. (2014). *Modellbasiertes Experimentieren im Unterricht. Praxistauglichkeit und Lernwirkungen* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 166). Berlin: Logos.

Mangiafico, S. (2021). *rcompanion: Functions to Support Extension Education Program Evaluation* (R package version 2.4.1). Verfügbar unter: https://CRAN.R-project.org/package=rcompanion

Mannel, S., Walpuski, M. & Sumfleth, E. (2015). Erkenntnisgewinnung: Schülerkompetenzen zu Beginn der Jahrgangsstufe 5 im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *21*(1), 99–110. https://doi.org/10.1007/s40573-015-0028-6

Marschner, J. (2011). *Adaptives Feedback zur Unterstützung des selbstregulierten Lernens durch Experimentieren*. Dissertation. Universität Duisburg-Essen, Duisburg-Essen.

Marschner, J., Thillmann, H., Wirth, J. & Leutner, D. (2012). Wie lässt sich die Experimentierstrategie-Nutzung fördern? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *15*(1), 77–93. https://doi.org/10.1007/s11618-012-0260-5

Maurer, C. & Rincke, K. (2013). Zielgerichtetes Experimentieren. In S. Bernholt (Hrsg.), *Inquiry-based Learning - Forschendes Lernen* (Bd. 33, S. 119–121). Kiel: IPN-Verlag.

Mayer, J. & Ziemek, H.-P. (2006). Offenes Experimentieren. Forschendes Lernen im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie*, *30*(317), 4–12.

Meyer, H. (2018). *Was ist guter Unterricht?* (13. Auflage). Berlin: Cornelsen.

Millar, R. (2009). *Analysing practical activities to assess and improve effectiveness: The Practical Activity Analysis Inventory (PAAI)*. York: Centre for Innovation

and Research in Science Education, University of York. Verfügbar unter: https://www.rsc.org/cpd/teachers/content/filerepository/frg/pdf/ResearchbyMillar.pdf

Millar, R., Tiberghien, A. & Le Maréchal, J.-F. (2003). Varieties of Labwork. A Way of Profiling Labwork Tasks. In D. Psillos & H. Niedderer (Eds.), *Teaching and Learning in the Science Laboratory* (Science & Technology Education Library, vol. 16, S. 9–20). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/0-306-48196-0_3

Minner, D. D., Levy, A. J. & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction-what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, *47*(4), 474–496. https://doi.org/10.1002/tea.20347

Moosbrugger, H. & Kelava, A. (Hrsg.). (2012). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (Springer-Lehrbuch, 2. Aufl.). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20072-4

Morine-Dershimer, G. (1979). *Teacher Plan and Classroom Reality: The South Bay Study, Part IV. Research Series No. 60*. Institute for Research on Teaching, College of Education, Michigan State University, 252 Erickson Hall, East Lansing, MI 48824 ($4.50). Retrieved from https://eric.ed.gov/?id=ED191796

Nakagawa, S. & Schielzeth, H. (2013). A general and simple method for obtaining R2 from generalized linear mixed-effects models. *Methods in Ecology and Evolution*, *4*(2), 133–142. https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2012.00261.x

Narciss, S. (2006). *Informatives tutorielles Feedback. Entwicklungs- und Evaluationsprinzipien auf der Basis instruktionspsychologischer Erkenntnisse* (Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie, Bd. 56). Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.

Narciss, S. (2014). Modelle zu den Bedingungen und Wirkungen von Feedback in Lehr-Lernsituationen. In H. Ditton & A. Müller (eds.), *Feedback und Rückmeldungen. Theoretische Grundlagen, empirische Befunde, praktische Anwendungsfelder.* Münster: Waxmann.

Navarro, D. J. (2015). *Learning statistics with R. A tutorial for psychology students and other beginners*. Adelaide, Australia: University of Adelaide ((Version 0.5)).

Nawrath, D., Maiseyenka, V. & Schecker, H. (2011). Experimentelle Kompetenz. Ein Modell für die Unterrichtspraxis. *Praxis der Naturwissenschaften Physik in der SChule*, *60*(6), 42–49. Zugriff am 06.06.2018.

Nehring, A., Stiller, J., Nowak, K. H., Upmeier zu Belzen, A. & 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*(1), 77–96. https://doi.org/10.1007/s40573-016-0043-2

Nerdel, C. (2017). *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik. Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule*. Berlin: Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53158-7

Nicol, D., Thomson, A. & Breslin, C. (2014). Rethinking feedback practices in higher education: a peer review perspective. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, *39*(1), 102–122. https://doi.org/10.1080/02602938.2013.795518

Nilsson, P. (2014). When Teaching Makes a Difference: Developing science teachers' pedagogical content knowledge through learning study. *International Journal of Science Education*, *36*(11), 1794–1814. https://doi.org/10.1080/09500693.2013.879621

Nilsson, P. (2015). Learning from a Learning Study. In M. Grangeat (Ed.), *Understanding science teachers' professional knowledge growth* (S. 155–168). Rotterdam: Sense Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-313-1_9

Nitsche, S., Dickhäuser, O., Fasching, M. S. & Dresel, M. (2011). Rethinking teachers' goal orientations: Conceptual and methodological enhancements. *Learning and Instruction*, *21*, 574–586.

Oehlschläger, H.-J. (1978). *Zur Praxisrelevanz pädagogischer Literatur. Strukturen und Trends der Literaturrezeption praktizierender Lehrer ; ein Beitrag zur Rezeptionsforschung* (Klett-Cotta typoscript, 1. Aufl.). Stuttgart: Klett-Cotta.

Paris, S. G., Lipson, M. Y. & Wixson, K. K. (1983). Becoming a strategic reader. *Contemporary Educational Psychology*, *8*(3), 293–316. https://doi.org/10.1016/0361-476X(83)90018-8

Park, S. & Oliver, J. S. (2008). Revisiting the Conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK). PCK as a Conceptual Tool to Understand Teachers as Professionals. *Research in Science Education*, *38*(3), 261–284. https://doi.org/10.1007/s11165-007-9049-6

Pfeifer, P., Lutz, B. & Bader, H. J. (2002). *Konkrete Fachdidaktik Chemie* (3. Aufl.). München: Oldenbourg.

Prenzel, M., Artelt, C., Baumert, J., Blum, W., Hammann, M., Klieme, E. et al. (2008). *PISA 2006 in Deutschland. Die Kompetenzen der Jugendlichen im dritten Ländervergleich. Zusammenfassung*.

Prenzel, M. & Parchmann, I. (2003). Kompetenz entwickeln - Vom naturwissenschaftlichen Arbeiten zum naturwissenschaftlichen Denken. *Naturwissenschaften im Unterricht/Chemie*, *14*(76-77), 15–19.

Priemer, B. (2011). Was ist das Offene beim offenen Experimentieren? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *17*, 315–337. Verfügbar unter: http://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/17_Priemer.pdf

Puntambekar, S. & Hubscher, R. (2005). Tools for Scaffolding Students in a Complex Learning Environment: What Have We Gained and What Have We Missed? *Educational Psychologist*, *40*(1), 1–12. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4001_1

R Core Team. (2021). *R. A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Verfügbar unter: https://www.R-project.org/

Rabe, T., Meinhardt, C. & Krey, O. (2012). Entwicklung eines Instruments zur Erhebung von Selbstwirksamkeitserwartungen in physikdidaktischen Handlungsfeldern. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *18*, 293–315.

Rasch, B., Friese, M., Hofmann, W. & Naumann, E. (2014). *Quantitative Methoden 2*. Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-43548-9

Reid, D. J., Zhang, J. & Chen, Q. (2003). Supporting scientific discovery learning in a simulation environment. *Journal of Computer Assisted Learning*, *19*(1), 9–20. https://doi.org/10.1046/j.0266-4909.2003.00002.x

Reinfried, Sibylle, Mathis, Christian, Kattmann & Ulrich. (2009). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Eine innovative Methode zur fachdidaktischen Erforschung und Entwicklung von Unterricht. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, *27*(3), 404–414.

Reinhold, P. (1996). *Offenes Experimentieren und Physiklernen* (IPN, Bd. 149). Zugl.: Kiel, Univ., Habil.-Schr., 1994. Kiel.

Reinmann, G. & Mandl, H. (2006). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (Anwendung Psychologie, 5. Aufl., S. 614–658). Weinheim: Beltz PVU.

Reiss, K., Sälzer, C., Schiepe-Tiska, A., Klieme, E. & Köller, O. (Hrsg.). (2016). *PISA 2015. Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation*. Münster: Waxmann.

Reusser, K. (2009). Unterricht. In S. Andresen, R. Casale, T. Gabriel, R. Horlacher, S. Larcher Klee & J. Oelkers (Hrsg.), *Handwörterbuch Erziehungswissenschaft* (S. 881–896). Weinheim: Beltz Verlag.

Reusser, K. (2014). Kompetenzorientierung als Leitbegriff der Didaktik. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, *32*(3), 325–339.

Revelle, W. (2021). *psych: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research*: Northwestern University, Evanston, Illinois. Verfügbar unter: R package Version 2.1.3, https://cran.r-project.org/web/packages/psych/index.html

Riedel, E. & Meyer, H.-J. (2018). *Allgemeine und Anorganische Chemie* (De Gruyter Studium, 12. Auflage). Berlin, Boston: De Gruyter.

Riese, J. (2009). *Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 97). Berlin: Logos.

Riese, J., Schröder, J. & Vogelsang, C. (2016). Der Einfluss professioneller Kompetenzen auf die Planungsperformanz angehender Physiklehrkräfte. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis* (Bd. 37, S. 756–759).

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* (S. 129–152). Münster: Waxmann.

Rincke, K. (2016). *Experimente in ihren Funktionen für das Lernen*. Zugriff am 30.11.2017.

Ritgen, U. (2019). *Analytische Chemie I*. Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-60495-3

Rössler, P. (2017). *Inhaltsanalyse* (UTB Basics, Bd. 2671, 3. Aufl.). Konstanz: UVK.

Rost, D. H. (2013). *Interpretation und Bewertung pädagogisch-psychologischer Studien. Eine Einführung* (utb-studi-e-book, Bd. 8518, 3. Aufl.). Bad Heilbrunn: Klinkhardt. Verfügbar unter: http://www.utb-studi-e-book.de/9783838585185

Rumann, S. (2005). *Kooperatives Experimentieren im Chemieunterricht. Entwicklung und Evaluation einer Interventionsstudie zur Säure-Base-Thematik* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 45). Berlin: Logos.

Sadeh, I. & Zion, M. (2009). The development of dynamic inquiry performances within an open inquiry setting: A comparison to guided inquiry setting. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*(10), 1137–1160. https://doi.org/10.1002/tea.20310

Sadeh, I. & Zion, M. (2012). Which Type of Inquiry Project Do High School Biology Students Prefer: Open or Guided? *Research in Science Education*, *42*(5), 831–848. https://doi.org/10.1007/s11165-011-9222-9

Sandfuchs, U. (2009a). Ebenen, Prinzipien und Situationen der Planung. In K.-H. Arnold, U. Sandfuchs & J. Wiechmann (Hrsg.), *Handbuch Unterricht* (UTB Schulpädagogik/Pädagogik, Bd. 8423, 2. Aufl., S. 519–524). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Sandfuchs, U. (2009b). Grundfragen der Unterrichtsplanung. In K.-H. Arnold, U. Sandfuchs & J. Wiechmann (Hrsg.), *Handbuch Unterricht* (UTB Schulpädagogik/Pädagogik, Bd. 8423, 2. Aufl., S. 512–519). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Saye, J. W. & Brush, T. (2002). Scaffolding critical reasoning about history and social issues in multimedia-supported learning environments. *Educational Technology Research and Development*, *50*(3), 77–96. https://doi.org/10.1007/BF02505026

Schaarschmidt, U. (1999). Beanspruchungsmuster im Lehrerberuf. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, *46*(4), 244–268.

Scheuermann, H. & Ropohl, M. (2017). Abhängige Variable, unabhängige Variable, Störvariable!? Die Einführung der Variablenkontrollstrategie. *Naturwissenschaften im Unterricht/Chemie*, *28*(158), 19–23.

Schirmeister, T., Schmuck, C., Wich, P. R. & Bamberger, D. (2016). *Beyer/Walter Organische Chemie. Mit 2309 Abbildungen und 28 Tabellen und Poster "Taschenfalter"* (25. Aufl.). Stuttgart: Hirzel Verlag.

Schmelzing, S. (2010). *Das fachdidaktische Wissen von Biologielehrkräften. Konzeptionalisierung, Diagnostik, Struktur und Entwicklung im Rahmen der Biologielehrerbildung*. Berlin: Logos.

Schmidkunz, H. & Lindemann, H. (1992). *Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren. Problemlösen im naturwissenschaftlichen Unterricht* (Didaktik, Naturwissenschaften, Band 2, 6. Aufl.). Essen: Westarp Wissenschaften.

Schmidt-Borcherding, F., Hänze, M., Wodzinski, R. & Rincke, K. (2013). Inquiring scaffolds in laboratory tasks: an instance of a “worked laboratory guide effect”? *European Journal of Psychology of Education*, *28*(4), 1381–1395. https://doi.org/10.1007/s10212-013-0171-8

Schmidt-Weigand, F., Franke-Braun, G. & Hänze, M. (2008). Erhöhen gestufte Lernhilfen die Effektivität von Lösungsbeispielen? Eine Studie zur kooperativen Bearbeitung von Aufgaben in den Naturwissenschaften. *Unterrichtswissenschaft*, *36*(4), 365–384.

Schmitt, N. (1996). Uses and Abuses of Coefficient Alpha. *Psychological Assessment*, *8*(4), 350–353.

Schreiber, N., Theyßen, H. & Schecker, H. (2009). Experimentelle Kompetenz messen?! *PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, *3*(8), 92–101. Verfügbar unter: http://www.phydid.de/index.php/phydid/article/download/93/98

Schröder, J., Riese, J., Vogelsang, C., Borowski, A., Buschhüter, D., Enkrott, P. et al. (2020). Die Messung der Fähigkeit zur Unterrichtsplanung im Fach Physik mit Hilfe eines standardisierten Performanztests. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *26*, 103–122. https://doi.org/10.1007/s40573-020-00115-w

Schröder, J., Vogelsang, C. & Riese, J. (2017). Erfassung der Performanz bei der Planung von Physikunterricht. In C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht - normative und empirische Dimensionen* (Bd. 38, S. 871–874).

Schüle, C., Besa, K.-S. & Arnold, K.-H. (2017). Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zur Erfassung allgemeindidaktischer Kompetenz. In K. Zierer & S. Wernke (Hrsg.), *Die Unterrichtsplanung: Ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?! Status Quo und Perspektiven aus Sicht der empirischen Forschung* (S. 17–31). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Schulz, A. [Alexandra]. (2011). *Experimentierspezifische Qualitätsmerkmale im Chemieunterricht. Eine Videostudie* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 113). Berlin: Logos.

Schulz, A. [Andreas] & Wirtz, M. (2012). Analyse kausaler Zusammenhänge als Ziel des Experimentierens. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 39–56). Münster: Waxmann.

Schulz, A. [Andreas], 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* (S. 15–38). Münster: Waxmann.

Schulz, W. (1980). *Unterrichtsplanung* (U & S Pädagogik Allgemeine Didaktik/Schulpädagogik, Bd. 7). München: Urban & Schwarzenberg.

Schweingruber, H. A., Hilton, M. L. & Singer, S. R. (Eds.). (2006). *America's lab report. Investigations in high school science*. Washington, D.C: National Academies Press.

Schwichow, M., Christoph, S. & Härtig, H. (2015). Förderung der Variablen-Kontroll-Strategie im Physikunterricht. *Mathematischer und Naturwissenschaftlicher Unterricht*, *68*(6), 346–350.

Schwichow, M., Croker, S., Zimmerman, C., Höffler, T. & Härtig, H. (2016). Teaching the control-of-variables strategy: A meta-analysis. *Developmental Review*, *39*, 37–63. https://doi.org/10.1016/j.dr.2015.12.001

Schwichow, M. & Nehring, A. (2018). Variablenkontrolle beim Experimentieren in Biologie, Chemie und Physik: Höhere Kompetenzausprägungen bei der Anwendung der Variablenkontrollstrategie durch höheres Fachwissen? Empirische Belege aus

zwei Studien. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *24*(1), 217–233. https://doi.org/10.1007/s40573-018-0085-8

Schworm, S. & Renkl, A. (2007). Learning argumentation skills through the use of prompts for self-explaining examples. *Journal of Educational Psychology*, *99*(2), 285–296. https://doi.org/10.1037/0022-0663.99.2.285

Seel, A. (2011). Wie angehende Lehrer/innen das Planen lernen. Empirische Befunde zur ausbildungsbezogenen Unterrichtsplanung. In K.-H. Arnold, T. Bohl & K. Zierer (Hrsg.), *Thementeil: Entwicklung und Weiterentwicklung allgemeindidaktischer Modelle der Unterrichtsplanung* (Jahrbuch für allgemeine Didaktik, Bd. 2011, S. 31–45). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.

Seidel, T., Schwindt, K., Rimmele, R. & Prenzel, M. (2008). Konstruktivistische Überzeugungen von Lehrpersonen: Was bedeuten sie für den Unterricht? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *10*(8), 259–276.

Seifert, A. & Schaper, N. (2018). Die Veränderung von Selbstwirksamkeitserwartungen und der Berufswahlsicherheit im Praxissemester. Emprirische Befunde zur Bedeutung von Lerngelegenheiten und berufsspezifischer Motivation der Lehramtsstudierenden. In J. König, M. Rothland & N. Schaper (Hrsg.), *Learning to practice, learning to reflect? Ergebnisse aus der Längsschnittstudie LtP zur Nutzung und Wirkung des Praxissemesters in der Lehrerbildung* (S. 195–222). Wiesbaden: Springer VS.

Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. (2005a). *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Bildungsabschluss. Beschluss vom 16.12.2004* (Kultusministerkonferenz, Hrsg.). Zugriff am 12.12.2017. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf

Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. (2005b). *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Bildungsabschluss. Beschluss vom 16.12.2004* (Kultusministerkonferenz, Hrsg.). Zugriff am 12.12.2017. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf

Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. (2005c). *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Bildungsabschluss. Beschluss vom 16.12.2004* (Kultusministerkonferenz, Hrsg.). Zugriff am 12.12.2017. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf

Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. (2019). *Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung*. Zugriff am 22.01.2021.

Sekretariat Kultusministerkonferenz. (2019). *Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften*. Zugriff am 22.01.2021.

Shavelson, R. J. & Stern, P. (1981). Research on Teachers' Pedagogical Thoughts, Judgments, Decisions, and Behavior. *Review of educational research*, *51*(4), 455–498.

Shulman, L. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational researcher*, *15*(2), 4–14.

Shulman, L. (1987). Knowledge and Teaching:Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, *57*(1), 1–23. https://doi.org/10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411

Siegler, R. S. & Liebert, R. M. (1975). Acquisition of formal scientific reasoning by 10- and 13-year-olds: Designing a factorial experiment. *Developmental Psychology*, *11*(3), 401–402. https://doi.org/10.1037/h0076579

Siler, S. A. & Klahr, D. (2012). Detecting, Classifying, and Remediating. In R. W. Proctor & E. J. Capaldi (Eds.), *Psychology of science. Implicit and explicit processes* (S. 137–180). New York: Oxford Univ. Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199753628.003.0007

Spitz, S. (2020). *Validierung eines Kodiermanuals zur Erfassung der Planungskompetenz bezüglich selbstgesteuerter Experimentierprozesse*. Unveröffentlichte schriftliche Hausarbeit. Universität Regensburg, Regensburg.

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung. (2019). *LehrplanPlus*. Zugriff am 01.041.2019. Verfügbar unter: https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/9/chemie/ch-ntg

Steinle, F. (2004). Exploratives Experimentieren. *Physikjournal*, *3*, 24–28.

Stender, A. (2014). *Unterrichtsplanung: Vom Wissen zum Handeln. Theoretische Entwicklung und empirische Überprüfung des Transformationsmodells der Unterrichtsplanung*. Dissertation. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel.

Stender, A., Brückmann, M. & Neumann, K. (2015). Vom Professionswissen zum kompetenten Handeln im Unterricht: Die Rolle der Unterrichtsplanung. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, *33*(1), 121–133.

Stender, A., Brückmann, M. & Neumann, K. (2017). Transformation of topic-specific professional knowledge into personal pedagogical content knowledge through lesson planning. *International Journal of Science Education*, *39*(12), 1690–1714. https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1351645

Stiller, J. (2015). *Scientific Inquiry im Chemieunterricht - Eine Videoanalyse zur Umsetzung von Erkenntnisgewinnungsprozessen im internationalen und schulstufenübergreifenden Vergleich*. Dissertation. Humboldt-Universtiät, Berlin.

Stolz, A. (2018). *Die Auswirkungen von Experimentiersituationen mit unterschiedlichem Öffnungsgrad auf Leistung und Motivation der Schülerinnen und Schüler* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 267). Berlin: Logos.

Streller, S., Bolte, C. & Dietz, D. (2019). *Chemiedidaktik an Fallbeispielen. Anregungen für die Unterrichtspraxis* (Lehrbuch). Berlin: Springer Spektrum.

Strübe, M., Tepner, O. & Sumfleth, E. (2016). Einsatz von Experimenten im Chemieunterricht - Ergebnisse aus ProwiN 2. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis* (Bd. 37, S. 384–387).

Sumfleth, E. (2016). Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht. In J. Koenen, M. Emden & E. Sumfleth (Hrsg.), *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung* (Ganz In - Materialien für die Praxis, S. 7–8). Münster: Waxmann.

Sumfleth, E., Rumann, S. & Nicolai, N. (2004). Schulische und häusliche Kooperation im Chemieanfangsunterricht. In J. Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule. Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung ; [BIQUA]* (S. 284–302). Münster: Waxmann.

Tardent Kuster, J. (2019). *Unterrichtsplanungen von angehenden Lehrpersonen zum experimentellen Handeln. Eine videografiegestützte Analyse von Unterrichtsplanungen*. Dissertation. Pädagogische Hochschule, Heidelberg. Zugriff am 23.09.2021. Verfügbar unter: https://d-nb.info/1206849371/34

Tebrügge, A. (2001). *Unterrichtsplanung zwischen didaktischen Ansprüchen und alltäglicher Berufsanforderung. Eine empirische Studie zum Planungshandeln von Lehrerinnen und Lehrern in den Fächern Deutsch, Mathematik und Chemie* (Europäische Hochschulschriften Reihe 11, Pädagogik, Bd. 829). Frankfurt am Main: Lang.

Telser, V. (2019). *Erfassung und Förderung experimenteller Kompetenz von Lehrkräften im Fach Chemie* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 282). Berlin: Logos.

Tepner, O., Borowski, A., Dollny, S., Fischer, H. E., Jüttner, M., Kirschner, S. et al. (2012). Modell zur Entwicklung von Testitems zur Erfassung des Professionswissens von Lehrkräften in den Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *18*, 7–28.

Terhart, E. (2002). Fremde Schwestern. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, *16*(2), 77–86. https://doi.org/10.1024//1010-0652.16.2.77

Tesch, M. (2005). *Das Experiment im Physikunterricht - Didaktische Konzepte und Ergebnisse einer Videostudie* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 42). Berlin: Logos.

Tesch, M. & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht - Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *10*, 51–69.

Thillmann, H. (2008). *Selbstreguliertes Lernen durch Experimentieren: Von der Erfassung zur Förderung*. Dissertation. Universität Duisburg-Essen, Duisburg-Essen.

Thillmann, H., Künsting, J., Wirth, J. & Leutner, D. (2009). Is it Merely a Question of "What" to Prompt or Also "When" to Prompt? *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, *23*(2), 105–115. https://doi.org/10.1024/1010-0652.23.2.105

Tschannen-Moran, M., Woolfolk Hoy, A. & Hoy, W. K. (1998). Teacher Efficacy: Its Meaning and Measure. *Review of educational research*, *68*(2), 202–248.

Van Dijk, E. M. & Kattmann, U. (2007). A research model for the study of science teachers' PCK and improving teacher education. *Teaching and Teacher Education*, *23*, 885–897.

Van Joolingen, W. R. (1999). Cognitive tools for discovery learning. *International Journal of Artificial Intelligenze in Education*, *10*, 385–397.

Van Vorst, H., Dorschu, 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*(1), 29–39. https://doi.org/10.1007/s40573-014-0021-5

Van Vorst, H., Fechner, S. & Sumfleth, E. (2018). Unterscheidung von Kontexten für den Chemieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *24*(1), 167–181. https://doi.org/10.1007/s40573-018-0081-z

Vancouver, J. B., Thompson, C. M., Tischner, E. C. & Putka, D. J. (2002). Two studies examining the negative effect of self-efficacy on performance. *Journal of Applied Psychology*, *87*(3), 506–516. https://doi.org/10.1037//0021-9010.87.3.506

Veenman, M. V., Elshout, J. J. & Busato, V. V. (1994). Metacognitive mediation in learning with computer-based simulations. *Computers in Human Behavior*, *10*(1), 93–106. https://doi.org/10.1016/0747-5632(94)90031-0

Vogelsang, C. & Riese, J. (2017). Wann ist eine Unterrichsplanung "gut"? Planungsperformanz in Praxisratgebern zur Unterrichtsplanung. In K. Zierer & S. Wernke (Hrsg.), *Die Unterrichtsplanung: Ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?! Status Quo und Perspektiven aus Sicht der empirischen Forschung.* Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Vollmer, G. (2005). "Experiment". In D. Freudig (Hrsg.), *Lexikon der Biologie auf CD-Rom.* Heidelberg: Spektrum, Akademischer Verlag.

Voss, T., Kleickmann, T., Kunter, M. & Hachfeld, A. (2011). Überzeugungen von Mathematiklehrkräften. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 235–257). Münster: Waxmann.

Voss, T., Kunina-Habenicht, O., Hoehne, V. & Kunter, M. (2015). Stichwort Pädagogisches Wissen von Lehrkräften: Empirische Zugänge und Befunde. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *18*(2), 187–223. https://doi.org/10.1007/s11618-015-0626-6

Wahser, I. (2008). *Training von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Fach Chemie* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 73). Berlin: Logos.

Wahser, I. & Sumfleth, E. (2008). Training experimenteller Arbeitsweisen zur Unterstützung kooperativer Kleingruppenarbeit im Fach Chemie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *14*, 219–241. Zugriff am 14.12.2017. Verfügbar unter: http://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/14_012_Wahser_Sumfleth.pdf

Walpuski, M. (2006). *Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 49). Berlin: Logos.

Walpuski, M. & Hauck, A. (2017). Experimente und Lernerfolg. Wie können Experimentierphasen optimiert werden, um Interesse und Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler zu erhöhen? *Naturwissenschaften im Unterricht/Chemie*, *28*(158), 8–13.

Walpuski, M. & Schulz, A. [Alexandra]. (2011). Erkenntnisgewinnung durch Experiment - Stärken und Schwächen deutscher Schülerinnen und Schüler im Fach Chemie. *Chimica et ceterae artes rerum naturae didacticae*, *37*(104), 6–27.

Walpuski, M. & Sumfleth, E. (2007). Strukturierungshilfen und Feedback zur Unterstzützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Chemieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *13*, 181–198. Zugriff am 15.12.2017.

Weinert, F. E. (Hrsg.). (2001). *Leistungsmessungen in Schulen*. Weinheim: Beltz.

Weingarten, J. (2019). *Wie planen angehende Lehrkräfte ihren Unterricht? Empirische Analysen zur kompetenzorientierten Gestaltung von Lernangeboten* (Internationale Hochschulschriften). Münster: Waxmann.

Weingarten, J. & van Ackeren, I. (2017). Wie planen angehende Lehrkräfte ihren Unterricht? . In K. Zierer & S. Wernke (Hrsg.), *Die Unterrichtsplanung: Ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?! Status Quo und Perspektiven aus Sicht der empirischen Forschung* (S. 148–165). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Weise, G. (1975). *Psychologische Leistungstests: ein Handbuch für Studium und Praxis. 1. Intelligenz, Konzentration, spezielle Fähigkeiten*. Göttingen: Hogrefe.

Weiß, C. (2005). *Basiswissen Medizinische Statistik* (Springer-Lehrbuch, 3. Aufl.). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-28549-0

Wellnitz, N., Fischer, H. E., Kauertz, A., Mayer, J., Neumann, I., Pant, H. A. et al. (2012). Evaluation der Bildungsstandards - eine fächerübergreifende Testkonzeption für den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *18*, 261–291.

Wellnitz, N., Hecht, M., Heitmann, P., Kauertz, A., Mayer, J., Sumfleth, E. et al. (2017). Modellierung des Kompetenzteilbereichs naturwissenschaftliche Untersuchungen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *20*(4), 556–584. https://doi.org/10.1007/s11618-016-0721-3

Wellnitz, N. & Mayer, J. (2013). Erkenntnismethoden in der Biologie - Entwicklung und Evaluation eines Kompetenzmodells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *19*, 315–345.

Weltner, K. & Warnkross, K. (1969). Über den Einfluss von Schülerexperimenten, Demonstrationsunterricht und informierenden Physikunterricht auf Lernerfolg und Einstellung der Schüler. *Die Deutsche Schule*, *61*.

Welzel, M., Haller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumaras, P., Niedderer, H. et al. (1998). Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden - Ergebnisse einer europäischen Umfrage. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *4*, 29–44.

Wengert, H. G. (1989). *Untersuchungen zur alltäglichen Unterrichtsplanung von Mathematiklehrern. Eine kognitionspsychologische Studie* (Europäische Hochschulschriften Reihe 6, Psychologie, Bd. 275). Frankfurt am Main: Lang.

Werner, J., Wernke, S. & Zierer, K. (2017). Der Einfluss didaktischer Modelle auf die allgemeindidaktische Unterrichtsplanungskompetenz von Lehramtsstudierenden. In

K. Zierer & S. Wernke (Hrsg.), *Die Unterrichtsplanung: Ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?! Status Quo und Perspektiven aus Sicht der empirischen Forschung* (S. 105–120). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Wernke, Stephan, Werner, Jochen, Zierer & Klaus. (2015). Heimann, Schulz oder Klafki? Eine quantitative Studie zur Einschätzung der Praktikabilität allgemeindidaktischer Planungsmodelle. *Zeitschrift für Pädagogik*, *61*(3), 429–451.

Wernke, S. & Zierer, K. (2017). Die Unterrichtsplanung. Ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?! In K. Zierer & S. Wernke (Hrsg.), *Die Unterrichtsplanung: Ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?! Status Quo und Perspektiven aus Sicht der empirischen Forschung* (S. 7–16). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

West, S. S., Schwinning, S. & Denn, A. D. (2020). Beyond Experiments: Considering the Range of Investigative and Data-Collection Methods in Science. In W. McComas (Hrsg.), *Nature of Science in Science Instruction. Rationales and Strategies* (Science: Philosophy, History and Education, 1st ed. 2020, S. 115–125). Cham: Springer International Publishing; Imprint: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_5

White, R. T. (1996). The link between the laboratory and learning. *International Journal of Science Education*, *18*(7), 761–774. https://doi.org/10.1080/0950069960180703

Wiater, W. (2009). Didaktische Theoriemodelle und Unterrichtsplanung. In K.-H. Arnold, U. Sandfuchs & J. Wiechmann (Hrsg.), *Handbuch Unterricht* (UTB Schulpädagogik/Pädagogik, Bd. 8423, 2. Aufl., S. 505–512). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Wickham, H. (2016). *ggplot2. Elegant graphics for data analysis* (Use R!, Second edition). Cham: Springer.

Winters, F. I., Greene, J. A. & Costich, C. M. (2008). Self-Regulation of Learning within Computer-based Learning Environments: A Critical Analysis. *Educational Psychology Review*, *20*(4), 429–444.

Wirth, J. (2009). Promoting Self-Regulated Learning Through Prompts. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, *23*(2), 91–94. https://doi.org/10.1024/1010-0652.23.2.91

Wirth, J. & Leutner, D. (2006). Selbstregulation beim Lernen in interaktiven Lernumgebungen. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 172–184). Göttingen: Hogrefe.

Wirth, J., Thillmann, H., Künsting, 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.

Wirtz, M. & Schulz, A. [Andreas] (2012). Modellbasierter Einsatz von Experimenten. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 57–74). Münster: Waxmann.

Wirtz, M. A. & Caspar, F. (2002). *Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität. Methoden zur Bestimmung und Verbesserung der Zuverlässigkeit von Einschätzungen mittels Kategoriensystemen und Ratingskalen*. Göttingen: Hogrefe.

Yap, B. W. & Sim, C. H. (2011). Comparisons of various types of normality tests. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, *81*(12), 2141–2155. https://doi.org/10.1080/00949655.2010.520163

Yinger, R. J. (1978). *A study of teacher planning: Description and a Model of Preactive Decision Making* (Research Series No. 18). East Lansing: Michigan State University: Institute for Research on Teaching.

Zahorik, J. A. (1975). Teachers' Planning Models. *Educational Leadership*, *33*(2), 134–139.

Zierer, K. (2010). *Alles prüfen! Das Beste behalten! Zur Eklektik in Lehrbüchern der Didaktik und des Instructional Design*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.

Zierer, K., Werner, J. & Wernke, S. (2015). Besser planen? Mit Modell! Empirisch basierte Überlegungen zur Entwicklung eines Planungskompetenzmodells. *Die Deutsche Schule*, *107*(4), 375–395.

Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: an overview. *Theory into practice*, *41*(2), 64–70.

10 Anhang

10.1 Verzeichnisse

10.1.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Angebots-Nutzungs-Modell (Helmke, 2007, S. 2) 9
Abbildung 2-2: Modell zur Professionellen Handlungskompetenz von Lehrkräften (Baumert & Kunter, 2006, S. 482) 11
Abbildung 2-3: Verortung der Planungskompetenz im didaktischen Dreieck (Wernke & Zierer, 2017, S. 11) 17
Abbildung 2-4: Transformationsmodell der Unterrichtsplanung (Stender, 2014, S. 38) 20
Abbildung 2-5: Refined Consensus Model of PCK (Carlson & Daehler, 2019, S. 83) . 21
Abbildung 2-6: Zusammenhang zwischen ePCK und pPCK (Alonzo et al., 2019, S. 275) 23
Abbildung 2-7: Fachdidaktisches Triplett im Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann, 2007); nachgezeichnet 28
Abbildung 2-8: Heuristisches Modell der Unterrichtsplanung (Riese, Schröder & Vogelsang, 2016, S. 757) 30
Abbildung 2-9: Zusammenhang Experiment und Theorie adaptiert nach Tesch und Duit (2004, S. 53) 42
Abbildung 2-10: Experimentierzyklus mit Teilprozessen (adaptiert nach Bohrmann (2017, S. 22), Maiseyenka (2014), Schreiber, Theyßen und Schecker (2009)) 45
Abbildung 2-11: Prozesse des SDDS-Modell (Gößling, 2010, S. 17) 47
Abbildung 2-12: Flussdiagramm hypothesengeleitetes Experimentieren (Telser, 2019, S. 57) 48
Abbildung 2-13: Offenheit beim Experimentieren (Hof & Mayer, 2008, S. 74) 55
Abbildung 2-14: Öffnungsgrade beim Experimentieren (Stiller, 2015, S. 55) 70
Abbildung 2-15: Dimensionierung und Graduierung der Offenheit (Priemer, 2011, S. 325) 71
Abbildung 2-16: Exemplarischer metakognitiver Prompt (Emden & Koenen, 2016, S. 26) 75
Abbildung 4-1: Planungshilfe – Pilotstudie 93
Abbildung 4-2: Vorgehensweise bei der Öffnung – Pilotstudie 94
Abbildung 4-3: Überarbeitete Planungshilfe – Hauptstudie 95
Abbildung 4-4: Schritte zur Öffnung von Experimentierprozessen – Hauptstudie 97
Abbildung 4-5: Assoziation der Moleküle über Wasserstoff-Brückenbindungen (Latscha, Kazmaier & Klein, 2016) 100
Abbildung 4-6: Hypothesenblatt zum eher vorskizzierten Beispiel 103
Abbildung 4-7: Auszug aus der Skala zu den Zielorientierungen 111
Abbildung 4-8: Auszug aus der Skala zu den Fachspezifischen Überzeugungen 111
Abbildung 4-9: Aufgabenbeispiel aus dem Test zum experimentell-fachdidaktischen Wissen 113

Abbildung 4-10:Auszug der Skala zur Selbstwirksamkeitserwartung bezüglich der Planung von Experimenten 114
Abbildung 4-11: Erhebung der Protokolle in den Hauptstudien bezogen auf einen Zyklus (P = Protokoll) 118
Abbildung 4-12: Vorgehensweise bei der Entwicklung des Kodiermanuals vgl. Döring und Bortz (2016) 122
Abbildung 5-1: gepaarte Messwerte Pre-Post-Vergleich – Pilotstudie 146
Abbildung 5-2: Mittlere Scores experimentell-fachdidaktisches Wissen – Pilotstudie 147
Abbildung 5-3: Selbstwirksamkeitserwartungen – Gesamt- & Subskalen Durchführung und Planung von Experimenten 149
Abbildung 5-4: Score-Werte Planungskompetenztest und Entwürfe – Pilotstudie (Y.1 & Y.2 = Entwürfe zum Messzeitpunkt Y) 150
Abbildung 5-5: Experimentelle Planungskompetenz – Pro Person – Pilotstudie (Y.1 & Y.2 = Entwürfe zum Messzeitpunkt Y) 151
Abbildung 5-6: Pre-Post-Vergleich Fachspezifische Überzeugungen – Pilotstudie 152
Abbildung 5-7: Pre-Post-Vergleich Zielorientierungen – Pilotstudie 152
Abbildung 5-8: Prozentuale Verteilung Evaluation Strukturierungshilfe – Pilotstudie 153
Abbildung 5-9: Prozentuale Verteilung Evaluation Theoriephase – Pilotstudie..... 154
Abbildung 6-1: Pre-Post-Follow-Up-Vergleich – Experimentell-fachdidaktisches Wissen – Hauptstudie 160
Abbildung 6-2: Selbstwirksamkeitserwartungen – Hauptstudie 162
Abbildung 6-3: Entwicklung der Subkategorien 1- 13 – Planungskompetenztest nach Messzeitpunkt – Hauptstudie 164
Abbildung 6-4: Entwicklung der Subkategorien 14 - 26 – Planungskompetenztest nach Messzeitpunkt – Hauptstudie 164
Abbildung 6-5: Pre-Post-Follow-Up-Vergleich – experimentelle Planungskompetenz – Hauptstudie 165
Abbildung 6-6: Verteilung der Score-Werte der Entwürfe pro Messzeitpunkt – Hauptstudie 166
Abbildung 6-7: Entwicklung der Subkategorien 1 – 13 – Entwürfe – Hauptstudie..... 167
Abbildung 6-8: Entwicklung der Subkategorien 14 – 26 – Entwürfe – Hauptstudie... 168
Abbildung 10-1: Stichprobenplanung – Graphisch 284
Abbildung 10-2: Stichprobenplanung – Kennwerte 284
Abbildung 10-3: QQ-Plot Fachspezifische Überzeugungen Pre – Hauptstudie..... 286
Abbildung 10-4: QQ-Plot Zielorientierungen Pre-Post – Hauptstudie 286
Abbildung 10-5: QQ-Plot experimentell-fachdidaktisches Wissen Pre-Post – Hauptstudie 286
Abbildung 10-6: QQ-Plot experimentell-fachdidaktisches Wissen Pre-Follow-Up – Hauptstudie 286
Abbildung 10-7: QQ-Plot experimentell-fachdidaktisches Wissen Post-Follow-Up – Hauptstudie 286
Abbildung 10-8: QQ-Plot experimentell-fachdidaktisches Wissen Pre – Hauptstudie 286

Abbildung 10-9: QQ-Plot experimentell-fachdidaktisches Wissen Post – Hauptstudie 287
Abbildung 10-10: QQ-Plot Selbstwirksamkeitserwartungen Gesamtskala Pre-Post – Hauptstudie 287
Abbildung 10-11: QQ-Plot Selbstwirksamkeitserwartungen Subskala Planung von Experimenten Pre-Post – Hauptstudie 287
Abbildung 10-12: QQ-Plot Selbstwirksamkeitserwartungen Subskala Durchführung von Experimenten Pre-Post – Hauptstudie 287
Abbildung 10-13: QQ-Plot experimentelle Planungskompetenz Pre-Post – Hauptstudie 287
Abbildung 10-14: QQ-Plot experimentelle Planungskompetenz Pre-Follow-Up – Hauptstudie 287
Abbildung 10-15: QQ-Plot experimentelle Planungskompetenz Post-Follow-Up – Hauptstudie 288
Abbildung 10-16:QQ-Plot experimentelle Planungskompetenz Pre – Hauptstudie 288
Abbildung 10-17: QQ-Plot experimentelle Planungskompetenz Post – Hauptstudie.. 288
Abbildung 10-18: Reliabilitätsanalyse Fachspezifische Überzeugungen Gesamtskala – Hauptstudie 289
Abbildung 10-19: Itemstatistik Fachspezifische Überzeugungen Gesamtskala – Hauptstudie 290
Abbildung 10-20: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik – Fachspezifische Überzeugungen – Subskala Lehren von Chemie in der Schule – Hauptstudie 291
Abbildung 10-21: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik – Fachspezifische Überzeugungen – Subskala Lernen von Chemie in der Schule – Hauptstudie 292
Abbildung 10-22: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik – Fachspezifische Überzeugungen – Subskala Chemie als Wissenschaft – Hauptstudie 292
Abbildung 10-23: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik – Zielorientierungen – Hauptstudie 293
Abbildung 10-24: Reliabilitätsanalyse experimentell-fachdidaktisches Wissen – bereinigt nach Trennschärfen größer .15 – Hauptstudie 294
Abbildung 10-25: Itemstatistik experimentell-fachdidaktisches Wissen - bereinigt nach Trennschärfen größer .15 – Hauptstudie 295
Abbildung 10-26: Reliabilitätsanalyse Selbstwirksamkeitserwartungen – Gesamtskala – Hauptstudie 296
Abbildung 10-27: Itemstatistik Selbstwirksamkeitserwartungen – Gesamtskala – Hauptstudie 296
Abbildung 10-28: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik Selbstwirksamkeitserwartungen – Subskala Durchführung von Experimenten – Hauptstudie 297
Abbildung 10-29: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik Selbstwirksamkeitserwartungen – Subskala Planung von Experimenten – Hauptstudie 297
Abbildung 10-30: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik Selbstwirksamkeitserwartungen – Subskala Didaktische Rekonstruktion unterrichtsrelevanter Inhalte – Hauptstudie . 298

Abbildung 10-31: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik Selbstwirksamkeitserwartungen – Subskala Umsetzung der Didaktischen Rekonstruktion im Unterricht – Hauptstudie 298
Abbildung 10-32: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik – experimentelle Planungskompetenz – Hauptstudie 299
Abbildung 10-33: Spearman-Brown Reliabilität – experimentelle Planungskompetenz – Hauptstudie 299
Abbildung 10-34: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik – Entwürfe – Hauptstudie ... 300
Abbildung 10-35: Spearman-Brown Reliabilität - Entwürfe - Hauptstudie 300
Abbildung 10-36: t-Test und Effektstärke – Pre-Post-Vergleich – experimentell-fachdidaktisches Wissen – Hauptstudie 301
Abbildung 10-37: t-Test und Effektstärke – Pre-FollowUp-Vergleich – experimentell-fachdidaktisches Wissen – Hauptstudie 301
Abbildung 10-38: t-Test und Effektstärke – Post-Follow-Up-Vergleich – experimentell-fachdidaktisches Wissen – Hauptstudie 301
Abbildung 10-39: t-Test und Effektstärke – Pre-Post-Vergleich – Selbstwirksamkeitserwartungen Gesamtskala – Hauptstudie 302
Abbildung 10-40: t-Test und Effektstärke – Pre-Post-Vergleich – Selbstwirksamkeitserwartungen Subskala Planung von Experimenten – Hauptstudie 302
Abbildung 10-41: t-Test und Effektstärke – Pre-Post-Vergleich – Selbstwirksamkeitserwartungen Subskala Durchführung von Experimenten – Hauptstudie 302
Abbildung 10-42: Wilcoxon-Test, t-Test und Effektstärken – Pre-Post-Vergleich – experimentelle Planungskompetenz – Hauptstudie 303
Abbildung 10-43: t-Test und Effektstärke – Pre-Follow-Up-Vergleich – experimentelle Planungskompetenz – Hauptstudie 303
Abbildung 10-44:t-Test und Effektstärke – Post-Follow-Up-Vergleich – experimentelle Planungskompetenz – Hauptstudie 304
Abbildung 10-45: Varianzanalyse Entwürfe – Hauptstudie 304
Abbildung 10-46: Friedman-Test Entwürfe – Hauptstudie 304
Abbildung 10-47: Korrelation experimentelle Planungskompetenztests und Entwürfe – Pre-Test – Hauptstudie 305
Abbildung 10-48: Korrelation experimentelle Planungskompetenz und Entwürfe – Post-Test – Hauptstudie 305
Abbildung 10-49: Korrelationen experimentell-fachdidaktisches Wissen und experimentelle Planungskompetenz – Hauptstudie 306
Abbildung 10-50: LMM Modell 1 306
Abbildung 10-51: LMM Modell (2) und BIC 307
Abbildung 10-52:LMM Modell (3) 308
Abbildung 10-53: LMM Modell (4) und BIC 309

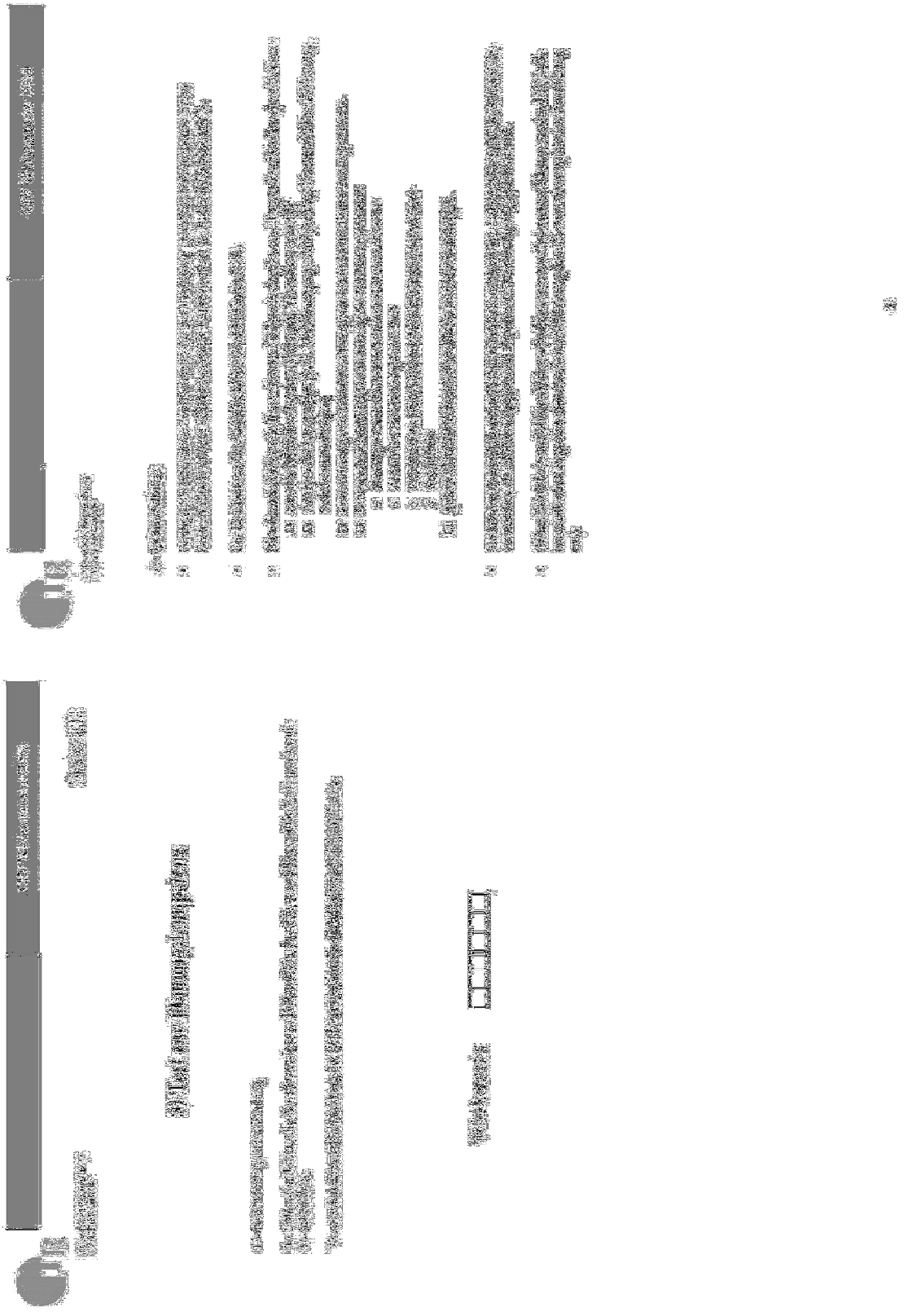
10.1.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Übersicht zu den Konzeptualisierung von PCK in verschiedenen Arbeiten (Tardent Kuster, 2019, S. 62) 14
Tabelle 2-2: Exemplarische Übersicht zu unterschiedlichen Unterteilungen von Experimentierprozessen in Anlehnung an Emden (2011), Wellnitz et al. (2012) und Stiller (2015) 46
Tabelle 2-3: Erkenntnisgewinnung in den NBS für den mittleren Schulabschluss (Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005b, S. 12) 49
Tabelle 2-4: Funktionen von Experimenten (Alexandra Schulz, 2011, S. 31–32)..... 51
Tabelle 2-5: Einsatz von Experimenten im Unterricht (Barzel et al., 2012, S. 118)..... 52
Tabelle 2-6: Kognitive Prozesse im Bereich Naturwissenschaftliche Untersuchungen (Wellnitz et al., 2012, S. 272–274)..... 66
Tabelle 2-7: Konkretisierung der Komplexitätsstufen (Mannel et al., 2015, S. 103) 66
Tabelle 4-1: detaillierter Ablauf Hauptstudie (Wintersemester 19/20)..... 90
Tabelle 4-2: Übersicht theoretische Inhalte Pilotstudie..... 91
Tabelle 4-3: Übersicht theoretische Inhalte Hauptstudie 92
Tabelle 4-4: Eigenschaften primärer Alkohole (Breitmaier & Jung, 2012)..... 100
Tabelle 4-5: Übersicht zur Stichprobe..... 109
Tabelle 4-6: Übersicht zu den verwendeten Erhebungsinstrumenten 109
Tabelle 4-7: Übersicht zur Abgabe der Protokolle einer Versuchsperson während des Seminars (P = Protokoll) 118
Tabelle 4-8: Übersicht veränderte Abgabe der Protokolle einer Versuchsperson (Beispiel) 118
Tabelle 4-9: Kategoriensystem vor der Reliabilitätsanalyse 124
Tabelle 4-10: Überschneidungsbereiche der drei Kodiererinnen 127
Tabelle 4-11: Interpretation des Krippendorff Alpha (Krippendorff, 2004)..... 127
Tabelle 4-12: Intercoder-Reliabilität und -übereinstimmung Gesamtskala zwischen Kodiererinnen 1 und 2 128
Tabelle 4-13: Intercoder-Reliabilität und -übereinstimmung Gesamtskala zwischen Kodiererinnen 1 und 3 128
Tabelle 4-14: Intercoder-Reliabilität und -übereinstimmung Gesamtskala zwischen Kodiererinnen 2 und 3 128
Tabelle 4-15: Intercoder-Reliabilität Gesamtskala Kodiererin 1, 2 und 3 128
Tabelle 4-16: Intercoder-Reliabilität und prozentuale Übereinstimmung (K = Kodiererin) 129
Tabelle 4-17: Übersicht Doppelkodierung nach der Finalisierung des Kodiermanuals131
Tabelle 4-18: Übersicht der Cronbachs Alpha Werte bei Kobl (2021)..... 134
Tabelle 4-19: Übersicht zu den verwendeten parametrischen und nicht parametrischen Verfahren..... 139
Tabelle 4-20: Verwendete Effektstärkemaße und ihre Interpretation 139

Tabelle 4-21: Verwendete Funktionen / Formeln und Pakete zur Effektstärkeberechnung 140
Tabelle 4-22: Wertebereiche und Interpretation von Korrelationskoeffizienten (Bühner & Ziegler, 2017) 140
Tabelle 5-1: Persönliche Angaben der Studierenden – Pilotstudie 143
Tabelle 5-2: Deskriptive Statistik Zielorientierungen – Pilotstudie 144
Tabelle 5-3: Deskriptive Statistik Fachspezifische Überzeugungen – Pilotstudie 145
Tabelle 5-4: Übersicht deskriptive Statistik experimentell-fachdidaktisches Wissen Pilotstudie 145
Tabelle 5-5: Übersicht interne Konsistenzen – Selbstwirksamkeitserwartung – Pilotstudie 147
Tabelle 5-6: Selbstwirksamkeitserwartungen Gesamtskala – Pilotstudie 148
Tabelle 5-7: Selbstwirksamkeitserwartungen Subskala Durchführung von Experimenten – Pilotstudie 148
Tabelle 5-8: Selbstwirksamkeitserwartung Subskala Planung von Experimenten – Pilotstudie 148
Tabelle 5-9: Übersicht Inferenzstatistik Selbstwirksamkeitserwartungen – Pilotstudie 149
Tabelle 5-10: Deskriptive Statistik experimentelle Planungskompetenz – Pilotstudie 150
Tabelle 5-11: Deskriptive Statistik Evaluation Strukturierungshilfe – Pilotstudie 153
Tabelle 5-12: Deskriptive Statistik Evaluation Theoriephase – Pilotstudie 154
Tabelle 5-13: Übersicht über die Veränderungen nach der Pilotstudie 155
Tabelle 6-1: Persönliche Angaben der Studierenden – Hauptstudie 157
Tabelle 6-2: Übersicht deskriptive Statistik Zielorientierungen – Hauptstudie 158
Tabelle 6-3: Übersicht deskriptive Statistik experimentell-fachdidaktisches Wissen – Hauptstudie 159
Tabelle 6-4: Übersicht Inferenzstatistik experimentell-fachdidaktisches Wissen – Hauptstudie 160
Tabelle 6-5 Übersicht interne Konsistenzen – Selbstwirksamkeitserwartung – Hauptstudie 161
Tabelle 6-6: Übersicht deskriptive Statistik – Gesamtskala Selbstwirksamkeitserwartungen – Hauptstudie 161
Tabelle 6-7: Übersicht deskriptive Statistik – Selbstwirksamkeitserwartung – Durchführung von Experimenten – Hauptstudie 161
Tabelle 6-8: Übersicht deskriptive Statistik – Selbstwirksamkeitserwartung – Planung von Experimenten – Hauptstudie 162
Tabelle 6-9: Übersicht Inferenzstatistik Selbstwirksamkeitserwartungen – Hauptstudie 162
Tabelle 6-10: Übersicht deskriptive Statistik experimentelle Planungskompetenz – Hauptstudie 163
Tabelle 6-11: Übersicht Inferenzstatistik experimentelle Planungskompetenz – Hauptstudie 165

Tabelle 6-12: Übersicht deskriptive Statistik – Entwicklung der Entwürfe – Hauptstudie 166
Tabelle 6-13: Übereinstimmungs- und Interrater-Reliabilitäts-Koeffizienten – Entwürfe – Hauptstudie 169
Tabelle 6-14: Übereinstimmungs- und Interrater-Reliabilitäts-Koeffizienten – Planungskompetenztests – Hauptstudie 169
Tabelle 6-15: Reliabilitätskoeffizienten Kodiermanual 170
Tabelle 6-16: Korrelation Entwürfe und Planungskompetenztests 170
Tabelle 6-17: Korrelation experimentell-fachdidaktisches Wissen und experimentelle Planungskompetenz 171
Tabelle 6-18: LMM experimentelle Planungskompetenz 172
Tabelle 6-19: LMM experimentell-fachdidaktisches Wissen 173
Tabelle 10-1: Anmerkungen 282
Tabelle 10-2: Anmerkungen zur Semianrkonzeption 283
Tabelle 10-3: Ergebnisse Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung – Hauptstudie 285

10.2 Test zur experimentellen Planungskompetenz



Chemische Schulversuche
Theoretische Einführung

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Universität Regensburg

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Gliederung

1. Das Experiment im Chemieunterricht
2. Kriterien zur Planung selbstgesteuerter Experimentierprozesse
3. Planungshilfe mit Beispiel

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Umfragen

Beteiligen Sie sich bitte an den interaktiven Aufgaben und Fragen!

Und so einfach geht's!

- ✓ Seite von Poll-Everywhere aufrufen:
- ✓ QR-Code oder PollEv.com/florianseile964
- ✓ mitvoten!

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Das Experiment

Was verbinden Sie mit einem Experiment?

Wintersemester 2019/20

Universität Regensburg

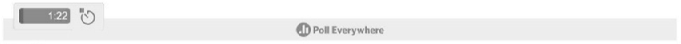
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Das Experiment

Was verbinden Sie mit einem Experiment?

"Verschiedene Sachen ausprobieren" | "Chemisches Spielen" | "Rumprobieren, untersuchen von Vermutungen," | "Etwas anschaulich zeigen" | "Thesen überprüfen" | "Mittel um Hypothesen überprüfen" | "Versuche mit Chemikalien" | "Ausprobieren" | "Beweisen"

"Versuch mit Modellen"



Wintersemester 2019/20

Universität Regensburg

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Definition Experiment

Das Experiment ...

- ✓ ... ist ein planmäßig durchgeführter Vorgang zum Zwecke der Beobachtung. [1]
- ✓ ... unterscheidet sich von zufälligen Entdeckungen. [2]
- ✓ ... muss genaue Ergebnisse liefern und reproduzierbar sein. [3]
- ✓ ... hat immer Erkenntnisgewinn als Ziel; ausgehend von einem Problem. [2]

! Unterscheidung zwischen dem Experimentieren als naturwissenschaftliche Methode und dem Experimentieren in der Schule [4] !

1: Jarich, 1995; 2: Vollmer, 2005; 3: Pfeifer, Lutz & Bader, 2002; 4: Gebhard, Höttecke & Rehm, 2017

Wintersemester 2019/20

Universität Regensburg

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Funktionen von Experimenten im NW-Unterricht

Zur...

- ✓ ... Einführung
- ✓ ... Begründung/Erarbeitung einer Problemstellung
- ✓ ... Lösung einer Problemstellung
- ✓ ... Vertiefung
- ✓ ... Wiederholung
- ✓ ... Leistungsüberprüfung

Hopf (2007)

Wintersemester 2019/20

Universität Regensburg

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Funktionen von Experimenten im NW-Unterricht

Hypothesen generieren
z.B. Eigenschaftsuntersuchungen Kunststoffe/Metalle/Salze

Hypothesen testen
z.B. Löslichkeit der Alkohole in polaren und unpolaren Lösungsmitteln

Phänomene oder Begriffe aufgreifen und kontrastieren
z.B. Flammenfärbung, Kupferdach, Anomalie des Wassers

Zusammenhänge zu Anwendungen herstellen
z.B. Herstellung von Seifen, Herstellung von Kunststoffen

Umgang mit Material schulen
z.B. Messen, Pipettieren, Trennverfahren

Durch Analogien Vorstellungen veranschaulichen
z.B. Modellversuche, wie Simulation der Aggregatzustände

Rincke, 2015

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Experimente zur Erkenntnisgewinnung

hypothesengenerierend

- ✓ auch entdeckendes oder explorierendes Experimentieren
- ✓ Funktion: Phänomene erkunden
- ✓ Ausgangssituation: offen
- ✓ Rolle der Theorie eher untergeordnet
- ✓ Suche nach Zusammenhängen
- ✓ Ergebnis: Hypothesen generieren

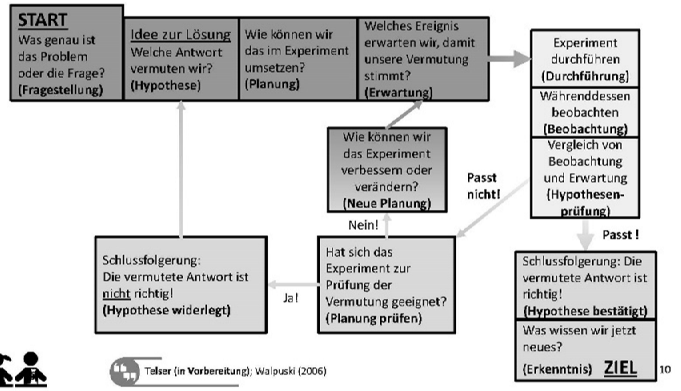
hypothesentestend

- ✓ Funktion: prüfen von Hypothesen
- ✓ Ausgangspunkt: begründete Hypothesen
- ✓ Theorie bzw. Vorkenntnisse unabdingbar
- ✓ Erklärungen für das Beobachtete werden geliefert
- ✓ Ergebnis: Verifizierung oder Falsifizierung der Hypothese

Maurer & Rincke, 2013

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

hypothesengeleiteter EGP



Telser (in Vorbereitung); Walpuski (2006)

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Mögliche Phasen beim Experimentieren

! Je nach Ziel, Zweck und Funktion des Experiments kann der Experimentierprozess unterschiedlich gegliedert werden. !

1	Planung		Durchführung		Auswertung
2	Problem-identifikation	Hypothesen formulieren	Planung	Daten sammeln und auswerten	Schlussfolgerung
3	Idee/Hypothese finden		Durchführung		Schlussfolgerung
4	Suche/Auswahl im Hypothesenraum		Suche/Auswahl im Experimentierraum		Schlussfolgerung
5	Planung & Design			Durchführung	Analyse und Interpretation

1: Schreiber, Theyßen & Schecker, 2009; 2: Kipnis & Hofstein, 2008, 3: Hammann, 2004; 4: Klahr & Dunbar, 1988, 5: Lunetta, 1998

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Experimentelle Teilkompetenzen

Fragestellung entwickeln

- ✓ zielgerichtet
- ✓ konkret
- ✓ auf theoretische Annahmen bezogen

Vermutung Hypothese

- ✓ basiert auf wissenschaftlicher Fragestellung
- ✓ Vermutung: Bezug auf Vorerfahrung
- ✓ Hypothese: Bezug auf theoretisches Vorwissen
- ✓ Rahmen für Messungen und Beobachtungen

Experiment planen

- ✓ Zielklarheit
- ✓ Geräte und Materialien festlegen
- ✓ zu untersuchende Größen klären
- ✓ Variablenkontrolle beachten

Versuch funktionsfähig aufbauen

- ✓ Geräte zusammenstellen
- ✓ Versuchsanordnung aufbauen
- ✓ Funktionsfähigkeit kontrollieren
- ✓ systematisch Fehler suchen

Malischenka, 2014, S. 22

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Experimentelle Teilkompetenzen

Beobachten Messen Dokumentieren

- ✓ kriteriengeleitet beobachten
- ✓ sorgfältig, genau, mehrfach messen
- ✓ vollständig, sorgfältig und genau dokumentieren

Daten aufbereiten

- ✓ Daten tabellarisch, grafisch oder textlich aufbereiten
- ✓ Formeln anwenden
- ✓ nach Zusammenhängen suchen
- ✓ vergleichend analysieren

Schlüsse ziehen/diskutieren

- ✓ Ergebnisse interpretieren
- ✓ Rückbezug auf Frage / Hypothese / Vermutung nehmen
- ✓ Hypothese / Vermutung kritisch reflektieren und ggf. überarbeiten
- ✓ Fehler analysieren
- ✓ eigene Position in Diskussion vertreten

Maiseyenka, 2014, S. 22

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Identifikation und Kontrolle von Variablen

unabhängige Variable (UV) ist für die Entstehung oder Veränderung eines Phänomens (abhängige Variable, AV) verantwortlich

1. Variablen des Systems identifizieren und operationalisieren
2. a) unabhängige Variable aktiv manipulieren
   b) alle anderen Einflussfaktoren konstant halten/kontrollieren
3. Veränderung der abhängigen Variable (AV) beobachten/messen

Schulz et al., 2012

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Variablenkonfundierung

= gleichzeitige Veränderung von mehreren Variablen

X Einflüsse verschiedener Variablen vermischen sich untereinander.

X Abgrenzen des Einflusses einzelner Variablen ist daher nicht möglich.

keine Kausalschlüsse möglich! [1]

- ✓ Variablenkontrollstrategie (VKS) ist Grundlage zur Planung kontrollierter Experimente [2]
- ✓ VKS hilft auch SuS beim Planen und Durchführen kontrollierter Experimente [3]

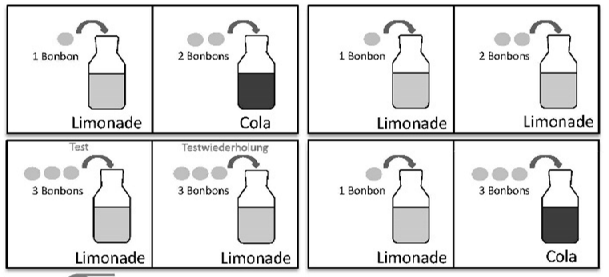
Schulz et al., 2012; 1: Glaser et al., 1992; 2: Chen & Klahr, 1999; van Joolingen, 1999; 3: Schwichow et al., 2016

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Aufgabe aus NAW 2 - Test

Idee von Tim und Anna:
Je mehr Bonbons man in ein Getränk gibt, desto höher sprudelt das Getränk.

Wie können Tim und Anna ihre Idee überprüfen?



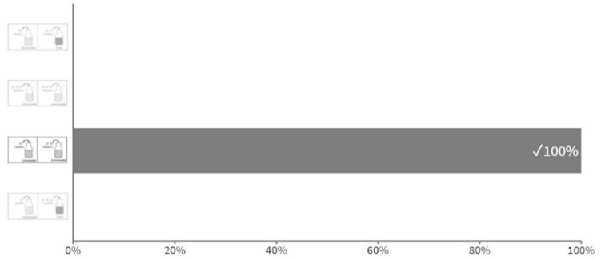
Mannel, 2011

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Idee von Tim und Anna:

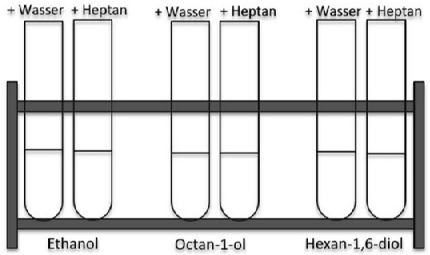
Je mehr Bonbons man in ein Getränk gibt, desto höher sprudelt das Getränk.

Wie können Tim und Anna ihre Idee überprüfen?



Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der Alkohole



Welche Variablen sind in diesem System bedeutsam und kontrollierbar?

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der Alkohole

Welche Variablen sind in diesem System bedeutsam und kontrollierbar?

"Zwischenmolekularewechselwirkung"

"Die Edukte"

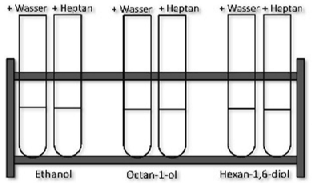
"Alkohole"

"Volumen, Temperatur"

Poll Everywhere

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der Alkohole



H1: Je größer die Anzahl an OH-Gruppen, desto besser löst sich der Alkohol in polaren LM.

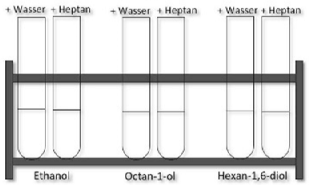
H2: Je länger die Kette, desto schlechter löst sich der Alkohol in polaren LM.

Welche der genannten Hypothesen sind mit diesem Aufbau überprüfbar?

Wintersemester 2019/20

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

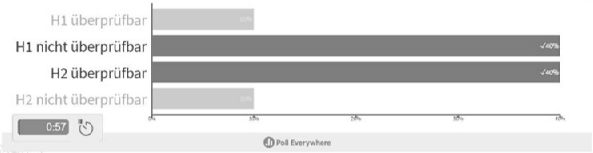
Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der Alkohole



H1: Je größer die Anzahl an OH-Gruppen, desto besser löst sich der Alkohol in polaren LM.

H2: Je länger die Kette, desto schlechter löst sich der Alkohol in polaren LM.

Welche der genannten Hypothesen ist mit diesem Aufbau überprüfbar?



Wintersemester 2019/20

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Probleme von SuS beim Experimentieren

Hypothesenbildung

- X Probleme beim Aufstellen von Hypothesen
- X Häufiges Arbeiten ohne Hypothese

Planung & Durchführung

- X Kontrolle von Variablen
- X Experimente werden oftmals ohne eine erkennbare Logik nach dem „trial-and-error"-Prinzip durchgeführt
- X umfassendes testen von Hypothesen
- X richtige Ideen & Hypothesen aber fehlende experimentelle Umsetzung

Auswertung

- X keine Ableitung von Schlussfolgerungen
- X oftmals unlogische Schlussfolgerungen
- X experimentell gewonnene Daten nur als Mittel der Bestätigung von Hypothesen (confirmation bias)

Hammann et al., 2006; Hammann, 2004; Hof & Mayer, 2008; Walpuski & Sumfleth, 2007; Siegler & Liebert, 1975; Rumann, 2005

Wintersemester 2019/20

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Aktuelle Lage im naturwissenschaftl. Unterricht

vorrangig

- ✓ Demonstrationsexperimente [1]
- ✓ Schülerexperimente mit rezeptartigen Experimentieranleitungen [2]
  - ✓ Wichtige Formen des Experimentierens im Chemieunterricht
- ✓ vergleichsweise wenig eigenständiges Entwickeln von Experimenten durch SuS [3]

aber

- ✓ Bildungsstandards fordern explizit die Förderung von Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung [4]
- ✓ Einzug in Form des Lernbereichs 1 im Lehrplan-Plus
  - ✓ selbstständige Planung, Durchführung und Auswertung beim Experimentieren durch SuS wird im Unterricht erwartet!
  - ✓ Lernförderliches Potential [5]

1: Strübe, Teaner & Sumfleth, 2016; 2: Schulz, 2011; 3: Reiss et al., 2015; 4: KMK, 2004; 5: Tesch, 2005; Schulz, 2011; Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung, 2019 (Lehrplan Plus Lernbereich 8.1)

Wintersemester 2019/20

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Kritik an rezeptartigen Experimentieranleitungen

Vorteile

- ✓ Vermeidung von Überforderung
- ✓ Schulen des Umgangs mit Materialien und Chemikalien
- ✓ Vermittlung von bloßem fachinhaltlichem Wissen

Nachteile

- X einseitige Sicht auf das Experimentieren [1]
- X Fokus liegt nicht auf dem Denken [2]
- X geringe Vermittlung von Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung, denn:

„Experimentelles Arbeiten […] muss explizit unterrichtet werden, es wird nicht durch Nachahmung bzw. Abarbeiten einer Vorlage erlangt" [3]

1: Abrahams & Millar, 2008; 2: Pranzel & Parchmann, 2003; 3: Wahser, 2008, S. 220

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Probleme und Konsequenzen

Dem Experimentieren im Unterricht wird hohes Lernpotenzial zugesprochen, das es häufig aber nicht einhalten kann [1 2 3]

?

Unzureichende Einbindung in den Lehr-Lernprozess [2 3]

- ✓ Bessere Einbettung in Lehr-Lern-Prozesse
- ✓ Beachten von Qualitätskriterien guten Unterrichts

1: Prenzel & Parchmann, 2003; 2: Kachal, 2016; 3: Walpuski & Hauck, 2017

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Kriterien zur Planung selbstgesteuerter Experimente

1. Fachliche Klärung
2. Lerngruppenanalyse
3. Ziele und Kompetenzen
4. Organisatorisches und Sicherheitsaspekte
5. Offenheit
6. Unterstützung
7. Einbettung

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Fachliche Klärung

- Grundideen und Inhalte des Themas
- Zusammenhänge zwischen den Inhalten und übergeordneten Basiskonzepten
- Fächerübergreifende Aspekte und Alltagsbezüge

Leitfragen

- ✓ Welche fachwissenschaftlichen Aussagen liegen zu dem jeweiligen Bereich vor und wo zeigen sich deren Grenzen?
- ✓ Welche Genese, Funktion und Bedeutung haben die wissenschaftlichen Vorstellungen und in welchem Kontext stehen sie?
- ✓ Welche wissenschaftlichen und epistemologischen Positionen sind erkennbar?

Kattmann et al., 1997; Kattmann, 2007, S. 95; Nerdel et al., 2017

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Fachliche Klärung

- Grundideen und Inhalte des Themas
- Zusammenhänge zwischen den Inhalten und übergeordneten Basiskonzepten
- Fächerübergreifende Aspekte und Alltagsbezüge

Leitfragen

- ✓ Wo sind Grenzüberschreitungen sichtbar, bei denen bereichsspezifische Erkenntnisse auf andere Gebiete übertragen werden?
- ✓ Welche ethischen und gesellschaftlichen Implikationen sind mit den wissenschaftlichen Vorstellungen verbunden?
- ✓ Welche Bereiche sind von einer Anwendung der Erkenntnisse betroffen?
- ✓ Welche lebensweltlichen Vorstellungen finden sich in historischen und aktuellen wissenschaftlichen Quellen?

Kattmann et al., 1997; Kattmann, 2007, S. 95; Nerdel et al., 2017

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Analyse der Lerngruppe

Ziel: Anpassung des Experimentierprozesses auf spezifische Lerngruppe

Lerngruppe unterscheidet sich in...
- ✓ Vorkenntnissen
  - ✓ Wissensstand
  - ✓ experimentelle Fähigkeiten
  - ✓ individuelles Vorwissen
  - ✓ typische Fehlvorstellungen
- ✓ Sprachen
- ✓ Intelligenz
- ✓ Lern- und Gedächtnisstrategien
- ✓ Lernmotivation
  - ✓ Interesse
- ✓ Anstrengungsbereitschaft
- ✓ Ausdauer
- ✓ Selbstvertrauen

Einfluss auf ...
- ✓ Ziele und Kompetenzen
- ✓ Offenheit & Strukturierung
- ✓ Lebensweltliche oder fachliche Einbettung

Heimlich, 2009; vgl. auch Kattmann, 2007

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Ziele von Experimenten

learn science
- ✓ Verbindung von Theorie und Praxis
- ✓ Entwicklung konzeptionellen und theoretischen Wissens
- ✓ Vertiefung des Verständnisses naturwissenschaftlicher Themen

learn about science
- ✓ Zugang zur Natur der Naturwissenschaften
- ✓ Bewusstsein über den Zusammenhang von Naturwissenschaften, Technologie, Gesellschaft und Umwelt
- ✓ Komplexität und Mehrdeutigkeit empirischer Arbeit verstehen

do science
- ✓ Vermittlung experimenteller Fähigkeiten
- ✓ Methoden wissenschaftlichen Denkens
- ✓ Einzigartigkeit experimenteller Erfahrungen erfahrbar machen

Hodson, 1996; Welzel et al., 1998; Schweingruber et al., 2006 (übersetzt von Hopf, 2007); Hofstein & Lunetta, 2004

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Förderung von Kompetenzen

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung	Kommunikation	Bewerten

Der Kompetenzbereich Fachwissen umfasst
- das Wissen über chemische Phänomene,
- das Verständnis grundlegender Begriffe, Gesetzmäßigkeiten und Prinzipien der Chemie zur Beschreibung von Stoffen und Stoffveränderungen,
- das grundlegende Verständnis von in der Chemie verwendeten Modellen.

Basiskonzepte
- zu Stoff-Teilchen-Beziehungen,
- zu Struktur-Eigenschafts-Beziehungen,
- zur chemischen Reaktion und
- zur energetischen Betrachtung bei Stoffumwandlungen

KMK, 2004

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Förderung von Kompetenzen

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung	Kommunikation	Bewerten

F 1 Stoff-Teilchen-Beziehungen
F 1.1: nennen und beschreiben bedeutsame Stoffe mit ihren typischen Eigenschaften,
F 1.2: beschreiben modellhaft den submikroskopischen Bau ausgewählter Stoffe,
F 1.3: beschreiben den Bau von Atomen mit Hilfe eines geeigneten Atommodells,
F 1.4: verwenden Bindungsmodelle zur Interpretation von Teilchenaggregationen räumlichen Strukturen und zwischenmolekularen Wechselwirkungen,
F 1.5: erklären die Vielfalt der Stoffe auf der Basis unterschiedlicher Kombinationen und Anordnungen von Teilchen.

F 2 Struktur-Eigenschafts-Beziehungen
F 2.1: beschreiben und begründen Ordnungsprinzipien für Stoffe, z.B. mit ihren typischen Eigenschaften oder mit charakteristischen Merkmalen der Zusammensetzung und Struktur der Teilchen,
F 2.2: nutzen ein geeignetes Modell zur Deutung von Stoffeigenschaften auf Teilchenebene,
F 2.3: schließen aus den Eigenschaften der Stoffe auf ihre Verwendungsmöglichkeiten und auf damit verbundene Vor- und Nachteile.

KMK, 2004

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Förderung von Kompetenzen

Fachwissen | Erkenntnisgewinnung | Kommunikation | Bewerten

F 3 chemische Reaktion

F 3.1: beschreiben Phänomene der Stoff- und Energieumwandlung bei chemischen Reaktionen,
F 3.2: deuten Stoff- und Energieumwandlungen hinsichtlich der Veränderung von Teilchen und des Umbaus chemischer Bindungen,
F 3.3: kennzeichnen in ausgewählten Donator-Akzeptor-Reaktionen die Übertragung von Teilchen und bestimmen die Reaktionsart,
F 3.4: erstellen Reaktionsschemata/Reaktionsgleichungen durch Anwendung der Kenntnisse über die Erhaltung der Atome und die Bildung konstanter Atomzahlenverhältnisse in Verbindungen,
F 3.5: beschreiben die Umkehrbarkeit chemischer Reaktionen,
F 3.6: beschreiben Beispiele für Stoffkreisläufe in Natur und Technik als Systeme chemischer Reaktionen,
F 3.7: beschreiben Möglichkeiten der Steuerung chemischer Reaktionen durch Variation von Reaktionsbedingungen.

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Förderung von Kompetenzen

Fachwissen | Erkenntnisgewinnung | Kommunikation | Bewerten

F 4 energetische Betrachtung bei Stoffumwandlungen

F 4.1: geben an, dass sich bei chemischen Reaktionen auch der Energieinhalt des Reaktionssystems durch Austausch mit der Umgebung verändert,
F 4.2: führen energetische Erscheinungen bei chemischen Reaktionen auf die Umwandlung eines Teils er in Stoffen gespeicherten Energie in andere Energieformen zurück,
F 4.3: beschreiben die Beeinflussbarkeit chemischer Reaktionen durch den Einsatz von Katalysatoren.

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Förderung von Kompetenzen

Fachwissen | Erkenntnisgewinnung | Kommunikation | Bewerten

E1: erkennen und entwickeln Fragestellungen,
E2: planen geeignete Untersuchungen zur Überprüfung von Vermutungen und Hypothesen,
E3: führen qualitative und einfache quantitative experimentelle und andere Untersuchungen durch und protokollieren diese,
E4: beachten beim Experimentieren Sicherheits- und Umweltaspekte,
E5: erheben bei Untersuchungen relevante Daten oder recherchieren sie
E6: finden in erhobenen oder recherchierten Daten, Trends, Strukturen und Beziehungen, erklären diese und ziehen geeignete Schlussfolgerungen,
E7: nutzen geeignete Modelle (z.B. Atommodelle, Periodensystem der Elemente) um chemische Fragestellungen zu bearbeiten,
E8: zeigen exemplarisch Verknüpfungen zwischen gesellschaftlichen Entwicklungen und Erkenntnissen der Chemie auf.

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Förderung von Kompetenzen

Fachwissen | Erkenntnisgewinnung | Kommunikation | Bewerten

K1: recherchieren zu einem chemischen Sachverhalt in unterschiedlichen Quellen,
K2: wählen themenbezogene und aussagekräftige Informationen aus,
K3: prüfen Darstellungen in Medien hinsichtlich ihrer fachlichen Richtigkeit,
K4: beschreiben, veranschaulichen oder erklären chemische Sachverhalte unter Verwendung der Fachsprache und/oder mit Hilfe von Modellen und Darstellungen,
K5: stellen Zusammenhänge zwischen chemischen Sachverhalten und Alltagserscheinungen her und übersetzen dabei bewusst Fachsprache in Alltagssprache und umgekehrt,

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Förderung von Kompetenzen

Fachwissen | Erkenntnisgewinnung | **Kommunikation** | Bewerten

K6: protokollieren den Verlauf und die Ergebnisse von Untersuchungen und Diskussionen in angemessener Form,

K7: dokumentieren und präsentieren den Verlauf und die Ergebnisse ihrer Arbeit situationsgerecht und adressatenbezogen,

K8: argumentieren fachlich korrekt und folgerichtig,

K9: vertreten ihre Standpunkte zu chemischen Sachverhalten und reflektieren Einwände selbstkritisch,

K10: planen, strukturieren, reflektieren und präsentieren ihre Arbeit als Team.

KMK, 2004

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Förderung von Kompetenzen

Fachwissen | Erkenntnisgewinnung | Kommunikation | **Bewerten**

B1: stellen Anwendungsbereiche und Berufsfelder dar, in denen chemische Kenntnisse bedeutsam sind,

B2: erkennen Fragestellungen, die einen engen Bezug zu anderen Unterrichtsfächern aufweisen und zeigen diese Bezüge auf,

B3: nutzen fachtypische und vernetzte Kenntnisse und Fertigkeiten, um lebenspraktisch bedeutsame Zusammenhänge zu erschließen,

B4: entwickeln aktuelle, lebensweltbezogene Fragestellungen, die unter Nutzung fachwissenschaftlicher Erkenntnisse der Chemie beantwortet werden können,

B5: diskutieren und bewerten gesellschaftsrelevante Aussagen aus unterschiedlichen Perspektiven,

B6: binden chemische Sachverhalte in Problemzusammenhänge ein, entwickeln Lösungsstrategien und wenden diese an.

KMK, 2004

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Zielklarheit

Nicht nur selbst klare Ziele setzen z.B. um Zielerreichung überprüfen zu können

Zielklarheit ist besonders für schwache SuS wichtig [4]

SuS sollten darüber hinaus Ziel und Zweck des jeweiligen Experiments kennen [1 2 3]

- durch konkrete Problem-/Fragestellung
- durch entsprechend formulierte Aufgabenstellung

1: Ferdinand, 2007; 2: Hofstein & Lunetta, 2004; 3: Harlen & Wake, 1999; 4: Heinke, 2014 (S. 200)

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Organisatorisches

zeitlich

- ✓ Ist die erforderliche Zeit im Unterricht vorhanden?
- ✓ Ggf. Anpassung der Dauer der Experimentieraufgabe
- ✓ Kurze Experimentiersequenzen oder auch ganze Experimentierstunden möglich
- ✓ In CSV: Dauer des Experiments mit Bearbeitung der Arbeitsmaterialen ca. 30 min

Geräte und Materialien

- ✓ Vorhanden oder nicht?
- ✓ Passende Anzahl vorhanden?
- ✓ Ggf. Anpassung der Gruppengröße, wenn sinnvoll
- ✓ Micro-Scale oder lowcost Variante möglich?

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Organisatorisches & Sicherheitsaspekte

Chemikalien

- ✓ Vorhanden oder nicht?
- ✓ Ausweichen auf im Handel erhältliche Alltagschemikalien?
  Bsp. Küpenfärbung statt Natriumdithionit Bleichmittel/Universal Entfärber
- ✓ In CSV: Überprüfung in unserer DEGINTU-Datenbank

Sicherheit

- ✓ Sind die Chemikalien für die SuS geeignet?
- ✓ Kontrollieren der aktuellen DGUV-Regel (siehe DEGINTU)
- ✓ Ggf. Substitution der betroffenen Chemikalien (d.h. Chemikalien durch andere passende aber weniger bedenkliche Chemikalien ersetzen)

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Offenheit

Was verstehen Sie unter der Offenheit von Experimentierprozessen?

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Was verstehen Sie unter der Offenheit von Experimentierprozessen?

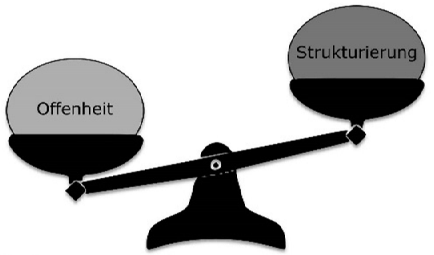
- "SuS dürfen selbst entscheiden wie sie an die Planung herangehen"
- "Die SuS müssen das Experiment selbst planen und eigenständig durchführen"
- "Raum zur freien Gestaltung von Experimenten -> auch Erfahrungen, dass ein Experiment so nicht funktionieren kann (im sicheren Rahmen)"
- "Freiheit in der Auswahl der Experimente von Schüler*innenseite"
- "SuS gestalten Experimente selbst, bzw. haben mehrere Auswahlmöglichkeiten ein Experiment durchzuführen"
- "Keine direkten Vorgaben"
- "SuS führen Experiment ohne Lehrer durch(Planung, Durchführung und Auswertung)"
- "Selbstständiges Erarbeiten eines Experimentes"
- "Keine "Kochrezepte" vorgeben"
- "freies experimentieren, ohne genau vorgaben"
- "SuS "erstellen" aus vorgegebenen Materialien und Chemikalien eigenständig Experimente zum Überprüfen vorgegebener Hypothesen"
- "SuS haben verschiedene Experimente zur Verfügung und müssen das für die Hypothese richtige wählen und durchführen"

2:53 Poll Everywhere

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Offenheit vs. Strukturierung

„Zu starke Strukturierung, z.B. das Abarbeiten von "kochbuchartigen" Anleitungen, schränkt die Lernwirksamkeit genauso ein wie zu wenig Strukturierung." [1]



1: Sumfeth et al., 2004, S. 285

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Offenheit - Definition

„Möglichkeit, im Rahmen von Experimentierstunden eigene Wege zu gehen." [1]

Möglichkeiten, eigene Entscheidungen zu treffen und Fehler zu machen.

„Offenheit heißt, dass in einem Unterricht mit hohem Offenheitsgrad die Rolle der Lehrkraft wechselt – von der Wissensvermittlung zur Unterstützung und Anleitung von eigenständigen Lernprozessen." [2]

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Überblick Offenheit

1. Fachinhalt
2. Phasen
3. Strategie
4. Methode
5. Anzahl der Lösungen und Lösungswege

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Grade der Offenheit

vorgegeben	vorskizziert	offen
✓ Keine Wahlmöglichkeiten für SuS ✓ Aspekt wird durch Lehrkraft vorgegeben	✓ z.B. bestimmte Vorauswahl für SuS ✓ Hinweise aber trotzdem Möglichkeit für SuS selbst Entscheidungen zu treffen	✓ freie Auswahl für SuS ✓ keine Vorgaben durch Lehrkraft

ansteigender Öffnungsgrad

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Offenheit – Fachinhalt

= Ausweitung des fachlichen Bezugs

weit gefasst

- ✓ verschiedene Probleme können mit Hilfe verschiedener Themengebiete gelöst werden.
- ✓ Offenheit bedeutet, dass die SuS selbst wählen können mit Hilfe welchen Themengebiets sie die Aufgabe angehen wollen.

eng gefasst

- ✓ Innerhalb eines Themengebiets können auch verschiedene Teilaspekte untersucht werden.
- ✓ Offenheit bedeutet, dass die SuS selbst wählen können, welche Aspekte Sie untersuchen wollen.

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Offenheit – Fachinhalt

weit gefasst:
Materialbestimmung einer Münze
(mehrere Themen können zur Problemlösung herangezogen werden)

- Bestimmung des Materials über den Auftrieb in Flüssigkeiten
- Bestimmung des Materials über statischen Auftrieb, elektrischen Widerstand oder Elektrolysen
- Keine Angabe wie das Material bestimmt werden soll

eng gefasst:
physikalische Eigenschaften der Alkohole z.B. Löslichkeit oder Viskosität.
(Zu untersuchende fachinhaltliche Aspekte)

- Zusammenhang zwischen der Kettenlänge von Alkoholen und ihrer Löslichkeit
- Zusammenhang zwischen der Kettenlänge von Alkoholen und ihren Stoffeigenschaften
- Freie Wahl des zu untersuchenden Zusammenhangs

Priemer, 2011

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Offenheit der Phasen des Experimentierprozesses

1. Schritt: Phasen des Experimentierprozesses
- ✓In welche Phasen lässt sich der Experimentierprozess unterteilen?
- ✓Abhängig von Lernziel und Funktion des Experiments

2. Schritt: Öffnung der Phasen
- ✓Welche Phasen sollen geöffnet werden? (Abhängig von Lernziel/Kompetenzen)
- ✓Reduzierung der Komplexität, in dem nur bestimmte Phasen geöffnet werden.
- ✓**strategische** und **methodische** Überlegungen zur Öffnung der Phasen.

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Offenheit – Phasen

Jede Phase kann separat offen gestaltet werden:

- Frage-/Problemstellung
- Planung
- Durchführung (Beobachtung)
- Aufbereiten der Daten
- Schlussfolgerung
- Hypothesenbildung
- Aufbau
- Datenaufnahme
- Auswertung
- Bewertung/Reflexion

- ✓ gezieltes Üben einzelner Phasen möglich
- ✓ gleichzeitige Unterstützung in anderen Phasen, um Überforderung zu vermeiden
- ✓ Erinnerung: Je nach Experiment können unterschiedliche Phasen bzw. eine unterschiedliche Reihenfolge dieser vorliegen

Priemer, 2011

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Offenheit – strategische Überlegungen

- ✓ **„Experimentieraufgaben mit strategischer Offenheit sollen i.d.R. dazu dienen, experimentelle Denkweisen zu vermitteln."** [1]
- ✓ Wichtig: Die zu Grunde liegende Strategie (z.B. VKS) muss zuvor vermittelt werden.

- notwendige Experimentierschritte
- qualitative oder quantitative Vorgehensweise
- Auswahl und Kontrolle von Variablen
- Anzahl aufzunehmender Messwerte
- Verfahren der Datenaufnahme
- Umgang mit Daten
- Auswertungsverfahren

Priemer, 2011; 1: Priemer, 2011, S. 327

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Offenheit – methodische Überlegungen

= Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen
Betrifft Methoden zur Verwirklichung der Strategie („**Konkrete** Umsetzung")

- Auswahl an Gefäßen & Geräten
- Auswahl an Chemikalien
- Auswahl qualitativer Nachweise

Priemer, 2011

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Offenheit hinsichtlich der Phasen

1. Schritt: Phasen des Experimentierprozesses
- ✓In welche Phasen lässt sich das Experiment unterteilen?
- ✓Abhängig von Lernziel und Art des Experiments

2. Schritt: Öffnung der Phasen
- ✓Welche Phasen sollen geöffnet werden? (Abhängig von Lernziel/Kompetenzen)
- ✓Reduzierung der Komplexität, in dem nur bestimmte Phasen geöffnet werden.
- ✓**strategische** und **methodische** Überlegungen zur Öffnung der Phasen.

3. Schritt: Strukturierung des Experimentierprozesses
- ✓Sollen die SuS den Prozess selbstgesteuert durchlaufen?
- ✓Strukturierung der Reihenfolge der Phasen durch bestimmte Arbeitsaufträge

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Anzahl der Lösungen & Lösungswege

Prüfkriterium: Wie offen ist der Experimentierprozess wirklich?

Lösungen
- ✓ **Gibt es ein „richtiges" Ergebnis, das alle SuS erreichen sollen?**
- ✓ Gibt es (z.B. auf Grund fachinhaltlicher Offenheit) mehrere erreichbare Ergebnisse?

Lösungswege
- ✓ Wie viele Möglichkeiten haben die SuS jeweils die Ergebnisse zu erreichen?

Priemer, 2011

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Anzahl der Lösungen & Lösungswege

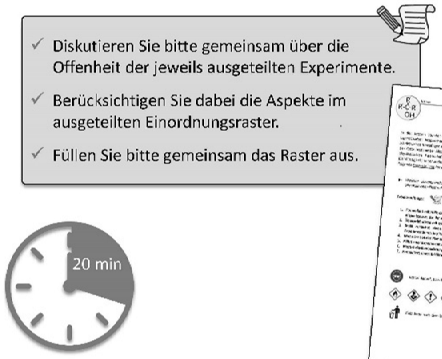
eine Lösung	ein Lösungsweg	Rezeptartige Anleitungen basieren i.d.R. auf diesem Ansatz.
eine Lösung	mehrere Lösungswege	Das Material einer Münze lässt sich über verschiedene Wege bestimmen; es gibt aber nur eine Lösung.
mehrere Lösungen	ein Lösungsweg	Die Bestimmung der Flammenfärbung verschiedener Metall-Kationen führt über einen Lösungsweg zu verschiedenen Lösungen.
mehrere Lösungen	mehrere Lösungswege	Bestimmung physikalischer Eigenschaften von verschiedenen Metallen. SuS wählen selbst die Metalle, die zu bestimmenden Eigenschaften und die nötige experimentelle Methode.

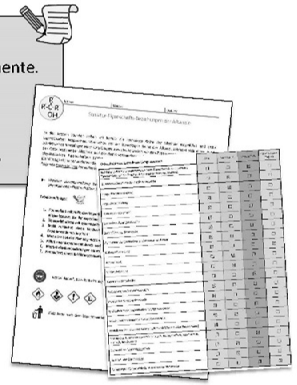
Priemer, 2011

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Arbeitsauftrag

- ✓ Diskutieren Sie bitte gemeinsam über die Offenheit der jeweils ausgeteilten Experimente.
- ✓ Berücksichtigen Sie dabei die Aspekte im ausgeteilten Einordnungsraster.
- ✓ Füllen Sie bitte gemeinsam das Raster aus.





Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Beispiel 1 – eher geschlossene Variante

Fachinhalt und Phasen	offen	vorskizziert	vorgegeben	Keine Aussage möglich
zu untersuchende Aspekte	☐	☐	☒	☐
Frage-/Problemstellung	☐	☐	☒	☐
Hypothesenbildung	☐	☐	☒	☐
Planung (theoretisch)	☐	☐	☒	☐
Versuchsaufbau (praktisch)	☐	☒	☐	☐
Durchführung (praktisch)	☐	☒	☐	☐
Aufnahme der beobachteten/gemessenen Daten	☐	☐	☒	☐
Datenaufbereitung	☐	☐	☐	☒
Auswertung	☐	☒	☐	☐
Schlussfolgerung	☐	☒	☐	☐
zu durchlaufende Phasen	☐	☐	☒	☐

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Beispiel 1 – eher geschlossene Variante

strategische und methodische Überlegungen	offen	vorskizziert	vorgegeben	Keine Aussage möglich
notwendige Experimentierschritte	☐	☐	☒	☐
Aspekt der Variablenkontrolle	☐	☐	☒	☐
qualitativer oder quantitativer Vorgehensweise	☐	☐	☒	☐
Anzahl aufzunehmender Messwerte	☐	☐	☒	☐
Verfahren der Datenaufnahme (z.B. durch Messen oder Beobachten)	☐	☐	☒	☐
Prinzip des Auswertungsverfahrens (z.B. mathematisch, tabellarisch, grafisch, textbasiert)	☐	☐	☒	☐
Auswahl der Materialien	☐	☐	☒	☐
Auswahl der Chemikalien	☐	☐	☒	☐
Anleitungen für verschiedene qualitative Nachweise	☐	☐	☐	☒

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Beispiel 2 – vorskizzierte Variante

Fachinhalt und Phasen	offen	vorskizziert	vorgegeben	Keine Aussage möglich
zu untersuchende Aspekte	☐	☒	☐	☐
Frage-/Problemstellung	☐	☐	☒	☐
Hypothesenbildung	☐	☒	☐	☐
Planung (theoretisch)	☒	☐	☐	☐
Versuchsaufbau (praktisch)	☒	☐	☐	☐
Durchführung (praktisch)	☒	☐	☐	☐
Aufnahme der beobachteten/gemessenen Daten	☐	☒	☐	☐
Datenaufbereitung	☐	☐	☐	☒
Auswertung	☐	☒	☐	☐
Schlussfolgerung	☐	☒	☐	☐
zu durchlaufende Phasen	☐	☐	☒	☐

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Beispiel 2 – eher vorskizzierte Variante

strategische und methodische Überlegungen	offen	vorskizziert	vorgegeben	keine Aussage möglich
notwendige Experimentierschritte	☒	☐	☐	☐
Aspekt der Variablenkontrolle	☐	☒	☐	☒
qualitativer oder quantitativer Vorgehensweise	☐	☒	☐	☐
Anzahl aufzunehmender Daten/Messwerte	☐	☐	☒	☐
Verfahren der Datenaufnahme (z.B. durch Messen oder Beobachten)	☒	☐	☐	☐
Prinzip des Auswertungsverfahrens (z.B. mathematisch, tabellarisch, grafisch, textbasiert)	☐	☐	☒	☐
Auswahl der Labormaterialien	☐	☒	☐	☐
Auswahl der Chemikalien	☐	☒	☐	☐
Anleitungen für verschiedene qualitative Nachweise	☐	☐	☐	☒

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Beispiel 3 – eher offene Variante

Fachinhalt und Phasen	offen	vorskizziert	vorgegeben	Keine Aussage möglich
zu untersuchende Aspekte	☐	☒	☐	☐
Frage-/Problemstellung	☐	☒	☐	☐
Hypothesenbildung	☒	☐	☐	☐
Planung (theoretisch)	☒	☐	☐	☐
Versuchsaufbau (praktisch)	☒	☐	☐	☐
Durchführung (praktisch)	☒	☐	☐	☐
Aufnahme der beobachteten/gemessenen Daten	☒	☐	☐	☐
Datenaufbereitung	☐	☐	☐	☒
Auswertung	☐	☒	☐	☐
Schlussfolgerung	☐	☒	☐	☐
zu durchlaufende Phasen	☐	☐	☒	☐

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Beispiel 3 – eher offene Variante

strategische und methodische Überlegungen	offen	vorskizziert	vorgegeben	keine Aussage möglich
notwendige Experimentierschritte	☒	☐	☐	☐
Aspekt der Variablenkontrolle	☒	☐	☐	☐
qualitativer oder quantitativer Vorgehensweise	☒	☐	☐	☐
Anzahl aufzunehmender Daten/Messwerte	☒	☐	☐	☐
Verfahren der Datenaufnahme (z.B. durch Messen oder Beobachten)	☒	☐	☐	☐
Prinzip des Auswertungsverfahrens (z.B. mathematisch, tabellarisch, grafisch, textbasiert)	☐	☐	☒	☐
Auswahl der Labormaterialien	☐	☒	☐	☐
Auswahl der Chemikalien	☐	☒	☐	☐
Anleitungen für verschiedene qualitative Nachweise	☐	☐	☐	☒

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Unterstützungsmaßnahmen

Hilfekarten

Feedback durch die Lehrkraft[1,2]

1: Marschner, 2011; 2: Walpuski, 2006

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Hilfekarten – Allgemeines

Zweck

- ✓ Hilfestellung in selbstgesteuerten Phasen und bei Hürden im Experimentierprozess [1]
- ✓ allen SuS gelingendes Durchlaufen der Experimentieraufgaben ermöglichen
- ✓ Binnendifferenzierung
- ✓ Anpassung an Voraussetzungen der Lerngruppe

Gestaltung

- ✓ zielgerichtet und bedarfsorientiert
- ✓ auf den jeweiligen Experimentierprozess bezogen
- ✓ Überschrift auf Vorderseite (Auslösen bestimmter Assoziationen)
- ✓ Fragen/Anregungen (Prompts) können Vorwissen oder den Strategieeinsatz aktivieren → Experimentierprozess bleibt selbstreguliert. [2]
- ✓ Lösungskarte, um Vorgehen abgleichen zu können [1]

1: Koenen et al., 2016; 2: Wirth et al., 2008

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Hilfekarten – Allgemeines

kognitive Hilfen	✓ Aktivieren von Vorwissen ✓ neue Informationen geben
metakognitive Hilfen	✓ Hilfen zur Problemstrukturierung[1] ✓ zum Einsatz bestimmter Strategien[2]
methodische Hilfen	✓ Hilfen zu naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen ✓ Handhabung von Experimentiergerät ✓ Erläuterungen zum methodischen Vorgehen

Metakognition: Wissen und Kontrolle über die eigenen kognitiven Funktionen [3]

„Sich seinem eigenen Wissen, seiner Denkstrategien bewusst zu sein und diese bewusst zu regulieren, bezeichnet man als metakognitiv." [3]

Koenen et al., 2016; 1: Hänze et al.,2007; 2: Wirth et al., 2008; 3: Hamns 2007, S. 130

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Gestufte Lernhilfen – Übersicht

Ziele

- ✓ Sachbezogene Informationen
- ✓ Aktivierung/Elaboration
- ✓ Strukturierung des Problems

Merkmale

- ✓ Meist 5 - 6 Hilfen in festgelegter Reihenfolge
- ✓ Kombination und Abwechslung von metakognitiven und kognitiven Hilfen
- ✓ zielgerichtet und bedarfsorientiert [1]
- ✓ Lernförderlichkeit empirisch überprüft [2]

Kognitiv

- ✓ Aktivierung von Vorwissen
- ✓ Informationsinput

Metakognitiv

- ✓ Fokussierung
- ✓ Visualisierung
- ✓ Verifikation
- ✓ Elaboration
- ✓ Paraphrasierung

Hänze et al., 2007; 1: Koenen et al., 2016; 2: Schmidt-Weigand et al., 2008

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

kognitive Hilfen – Beispiele

Aktivieren von Vorwissen

Beispiel:
„Erinnert Euch: Wie lautet die Formel, mit der man aus der Masse und dem Volumen die Dichte bestimmt!"
Erklärung:
Bereits vorhandenes Vorwissen durch entsprechende Hinweise (Prompts) verfügbar machen.

Informationsinput

Beispiel:
„Die Formel für die Dichte lautet: Dichte = Masse/Volumen."
Erklärung:
Zur Verfügung stellen von Wissen, das bei den (meisten) SuS nicht vorhanden ist, aber zur Bearbeitung der Experimentieraufgabe benötigt wird.

Hänze et al., 2007

Wintersemester 2019/20

Universität Regensburg

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

metakognitive Hilfen – Beispiele

Elaboration

Beispiel:
„Überlegt euch, welche der Eigenschaften am einfachsten zu bestimmen **ist!"**
Erklärung:
Hilfestellung für das Erarbeiten kritischer Aspekte.

Paraphrasierung

Beispiel:
„Erklärt Euch gegenseitig die Aufgabe noch einmal in **eigenen Worten!"**
Erklärung:
Die SuS formulieren die Aufgabe in eigenen Worten, was das Erkennen des Ziels vereinfacht.

Fokussierung

Beispiel:
„Schaut Euch die Informationen auf dem **Aufgabentext an!"**
Erklärung:
Hinweis auf die gegebenen Informationen.

Hänze et al., 2007

Wintersemester 2019/20

Universität Regensburg

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

metakognitive Hilfen – Beispiele

Visualisierung

Beispiel:
„Fertigt eine Skizze des Problems an!"
Erklärung:
Eine Skizze kann das Verstehen von Problemzusammenhängen erleichtern.

Verifizierung

Beispiel:
„Schreibt die einzelnen Schritte noch einmal nacheinander auf!"
Erklärung:
Hilft den SuS ihr Vorgehen zu Strukturieren.

Hänze et al., 2007

Wintersemester 2019/20

Universität Regensburg

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Gestufte Lernhilfen - Hinweise

Tipps zur Erstellung gestufter Lernhilfen:

- ✓ Aufgabegebundenheit aller Hilfen; zu abstrakte Hilfen vermeiden!
- ✓ Frage/Aufforderung mit Antwort/Erläuterung koppeln
- ✓ Hilfen durch Stichwörter/Nummerierung auf Vorderseite kenntlich machen
- ✓ Entsprechende Beschriftung, bei mehreren Lösungswegen
- ✓ Vorgesehene Komplettlösung als letzte Hilfe (Erfolgserleben & Korrektur)
- ✓ Keine zusätzlichen Hinweise durch die Lehrkraft

Forschergruppe Kassel, 2006; Hänze et al., 2010

Wintersemester 2019/20

Universität Regensburg

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Strukturierungshilfen

Werden die Phasen nicht vorgegeben, so kann man Strukturierungshilfen anbieten.

Schüler arbeiten häufig unstrukturiert [1]

↓

geringe Strukturiertheit z.T. für geringen Lernerfolg verantwortlich [2]

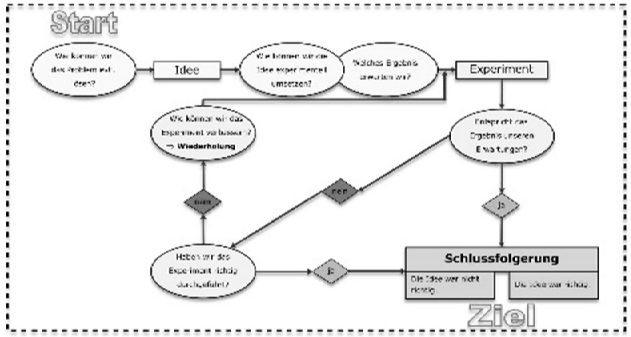
↓

Lernförderliche Wirkung von Strukturierungshilfen in Kombination mit Strukturierungstrainings [3]

1: Gößling, 2010; Hammann et al., 2006; 2: Welpuski & Sumfleth, 2007; 3: Wahser, 2008; Wahser & Sumfleth, 2008

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Strukturierungshilfen (Bsp.)



Welpuski (2006)

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Einbettung

fachimmanent

- ✓ hervorheben zuvor behandelter Fachinhalte
- ✓ in Bezug zu Experiment setzen
- ✓ evtl. auch Ausblick auf das bevorstehende Experiment
- ✓ wiederaufnehmen des Fachinhalts am Ende der Experimentiereinheit
- \+ Vorwissen wird aktiviert und mit Aufgabe vernetzt

lebensweltlich

- ✓ lebensweltlicher Zusammenhang
- ✓ gesellschaftlicher oder historischer Bezugspunkt
- ✓ wiederaufnehmen des Zusammenhangs am Ende der Experimentiereinheit
- \+ aktiviert Aufmerksamkeit und Interesse der SuS

Bürlin, 2012

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Tipps zur Arbeitsblattgestaltung

- ✓ Einheitliche Kopfzeile zur Orientierung (Vermerk der Jahrgangsstufe)
- ✓ Gestaltung überwiegend mit Bildern
- ✓ Raum für Bearbeitung auf dem gleichen Blatt
- ✓ Sicherheits- und Entsorgungshinweise

Tool für Geräte und Versuchsskizzen:

- ✓ https://chemix.org/
- ✓ Kostenloser Download unter:

http://www.schule-bw.de/faecher-und-schularten/mathematisch-naturwissenschaftliche-faecher/chemie/neuer-index.html/nuetzliches-fuer-die-unterrichtsvorbereitung/skizze [1]

1: Institut für Bildungsanalysen [stand 03.04.2019]

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Fazit

Die Gestaltung von Experimentiersituationen im Sinne experimenteller Lernarrangements bedarf vieler Überlegungen: In Abhängigkeit von dem Lernziel, das erreicht werden soll, entscheidet sich, welche Ebenen des Experiments – Prozess- und/oder fachinhaltliche Ebene – durch die zur Verfügung gestellten Materialien oder in einer anschließenden Besprechung thematisiert werden müssen. Ist es ausreichend allein auf fachinhaltlicher Ebene zu lernen oder sollen Aspekte des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung thematisiert werden? Des Weiteren muss die Offenheit der Experimentiersituation an das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler angepasst werden. Von der Antwort auf die Frage ‚Wie viel Hilfe ist notwendig?' hängt dann ab, wie viele und welche Unterstützungsmaßnahmen benötigt werden. [1]

1: Koenen et al., 2016, S. 24

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Planungshilfe und Beispiel

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Lehrplaneinordnung – LehrplanPlus

C 9 Lernbereich 5 (NTG)
Kompetenzerwartungen
Die Schülerinnen und Schüler ...

- verwenden die Modellvorstellung der Elektronegativität zur Erklärung der Bindungspolaritäten, leiten aus den Bindungspolaritäten und der Molekülgeometrie die Molekülpolarität ab und interpretieren Abbildungen zur Elektronendichteverteilung und zur ladungsadaptierten Elektronendichteoberfläche.
- teilen ausgewählte organische Verbindungsklassen (Alkohole, Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren) anhand der funktionellen Gruppen ihrer Molekülen ein und kennen in Alltag und Technik verwendete Vertreter der Verbindungsklassen.
- nutzen die Nomenklaturregeln nach IUPAC, um typische Moleküle der Verbindungsklassen Alkohole, Aldehyde, Ketone und Carbonsäuren zu benennen.
- **vergleichen die physikalischen Eigenschaften molekularer Stoffe und erklären die Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede durch die auftretenden zwischenmolekularen Wechselwirkungen, um hypothesengeleitet Eigenschaftsunterschiede aus den Molekülstrukturen vorauszusagen, z. B. für die Auswahl geeigneter Lösemittel.**
- beurteilen die Bedeutung von Feldprodukten in verschiedenen Einsatzbereichen in Alltag und Technik und schätzen die Konsequenzen des Einsatzes für die Umwelt ab.
- erklären die Besonderheiten des Stoffes Wasser mithilfe der aus dem Bau der Wasser-Moleküle und der Wechselwirkungen zwischen den Wasser-Molekülen resultierenden Eigenschaften und sind sich deren Bedeutung als Wasser als Grundlage für das Leben bewusst.
- erklären den Lösevorgang vorstellen, indem sie die Vorgänge auf der Teilchenebene beschreiben und die Energiebeteiligung auch quantitativ betrachten.

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Lehrplaneinordnung – LehrplanPlus

C 9 Lernbereich 5 (NTG)

Inhalte zu den Kompetenzen:

- Elektronegativität, Polarisierung, polare und unpolare Elektronenpaarbindung
- Bindungsspektrum (Elektronendichteverteilung), Molekülgeometrie (ladungsadaptierte Elektronendichteoberfläche, ggf. mithilfe einer Software zur Molekül-Modellierung)
- funktionelle Gruppen und Nomenklatur bei Alkohol-, Aldehyd-, Keton-, Carbonsäure-Molekülen, Moleküle mit mehreren funktionellen Gruppen
- Profil: Nachweisreaktionen für funktionelle Gruppen (z. B. mit $Cr_2O_7^{2-}$-Ionen in schwefelsaurer Lösung, Schiffsches Reagenz)
- Wechselwirkungen zwischen Teilchen: Van-der-Waals-Wechselwirkungen als Oberbegriff für London-Dispersionswechselwirkungen und Dipol-Dipol-Wechselwirkungen, Wasserstoffbrücken, Ion-Dipol-Wechselwirkungen, ggf. Verwendung von Simulationssoftware
- **physikalische Eigenschaften: Viskosität, Siedetemperatur, Löslichkeit; Auswirkung der Isomerie auf die Molekülform und die Oberfläche**
- **Profil: vergleichende Betrachtung von Viskosität, Siedetemperatur, Löslichkeit**
- Erdölprodukte: Kohlenwasserstoffe als Schmierstoffe und Lösemittel, Umweltaspekte und Umweltaspekte
- Wasser: Struktur und Schmelz-, Siedetemperatur, Dichteanomalie, Oberflächenspannung
- wichtige Lösemittel: Wasser, Benzin, Ethanol, hydrophil, hydrophob, lipophil, amphiphil
- Profil: Versuche zur Löslichkeit in verschiedenen Lösemitteln, z. B. Fleckenentfernung
- Hydratation, Energiebeteiligung beim Lösevorgang
- Profil: qualitative und quantitative Experimente zum Energieumsatz beim Lösen von Salzen, schwer- und leichtlöslichen Salzen
- weitere Vorschläge für den Profilbereich: Molekülstrukturlegung am Computer, Vergleich von Raumbeanspruchungen, Feldlinienarbeitung (z. B. Coulomb-, Reibungskraft), Wasser als Wasserschlagpumpe, Auswirkungen der Dichteanomalie (Klimawandel, globale Meeresströmungen), Kristallstrukturen von Eis, Hydrophobierung

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Beispiel – Fachliche Klärung

- ✓ Struktureigenschaften haben einen Einfluss auf physikalische Eigenschaften (z.B. Viskosität oder Löslichkeit)
- ✓ Grund dafür sind zwischenmolekulare Wechselwirkungen:
  - ✓ Einfluss der Kettenlänge (London Dispersionskraft)
  - ✓ Einfluss der Hydroxygruppen (Wasserstoffbrückenbindungen)
  - → mögliche fachliche Lernziele
- ✓ Wasserstoffbrücken zwischen den OH-Gruppen der Alkohole und den Wassermolekülen → Alkohole bis einschließlich 1-Propanol sind wasserlöslich
- ✓ Je länger der Alkylrest, desto ähnlicher sind die Alkohole den Alkanen.
  → Ab 1-Butanol lösen sich Alkohole nicht mehr in Wasser
- ✓ Verknüpfung mit Basiskonzept Struktur-Eigenschafts-Beziehungen.

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Beispiel - Lerngruppenanalyse

Allgemein

- ✓ heterogene Gruppe (starke & schwache SuS)

→ Differenzierungs-möglichkeiten miteinplanen

Vorwissen

- ✓ homologe Reihe der Alkane (Gym: 8.3| RS: 9.2)
- ✓ zwischenmolekulare Wechselwirkungen (London Dispersions-Kraft/Wasserstoffbrückenbindung) (Gym: 9.5| RS: 9.2)

→ Aktivierung → Hilfen

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Beispiel - Lerngruppenanalyse

exp. Fähigkeiten

- ✓ geübt im Experimentieren
- ✓ Vorgehen entsprechend eines nw. Erkenntnisgewinnungsprozesses ist in Grundzügen bekannt

→
- Ggf. keine methodischen Hilfen notwendig, da SuS bereits mit dem Labormaterial umgehen können.
- Aufgabenschwierigkeit anpassen;
- bei Hilfen mit in Betracht ziehen

Fehlvorstellung

- ✓ je viskoser der Alkohol, desto **„öl-ähnlicher"** ist er → schlecht löslich in Wasser (Alltagsbeobachtung)

→ Fehlvorstellungen miteinplanen!

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Beispiel - Formulierung von Lernzielen/Kompetenzen

fachlich

- ✓ **L1:** SuS sollen den Einfluss der Kettenlänge auf die physikalischen Eigenschaften von Alkoholen unter besonderer Berücksichtigung zwischenmolekularer Wechselwirkungen erklären können. (F 2.2)
- ✓ **L2:** SuS sollen physikalische Eigenschaften ausgewählter Alkohole beschreiben können.

weitere

- ✓ **L3:** SuS sollen selbstständig eine geeignete Untersuchung zur Überprüfung einer selbst gewählten Hypothese planen können. (E2)
- ✓ **L4:** SuS sollen selbstständig eine Untersuchung durchführen und protokollieren können. (E3, E4, K6, K7)
- ✓ **L5:** SuS sollen selbstständig in den erhobenen Daten Beziehungen finden (E5, E6).

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Öffnung des Experimentierprozesses

mehrere fachinhaltliche Herangehensweisen möglich machen; Auswahl, um Überforderung zu vermeiden → Zusammenhang zwischen der Kettenlänge von Alkoholen und ihrer Löslichkeit bzw. Viskosität

Welche Phasen gibt es? →

Klassisches hypothesengeleitetes Experiment:
- ✓ Fragestellung
- ✓ Hypothese
- ✓ Planung
- ✓ Durchführung mit Beobachtung & Dokumentation
- ✓ Auswertung & Schlussfolgerung

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Öffnung des Experimentierprozesses

Phasen	Offenheit			Lernziel	Strategie	Methode
Fragestellung			x		✓ Frage-/Problemstellung vorgeben	
Hypothese		x		L2, L3	✓ Hilfe zur Formulierung von Hypothesen (damit SuS ohne viel Aufwand oder Vorwissen experimentell überprüfbare Hypothesen aufstellen können)	
Planung	x			L1, L2, L3	✓ Hinweis zur Kontrolle von Variablen ✓ qualitatives Vorgehen vorgeben ✓ bei Viskosität sowohl qualitatives als auch quantitatives (Volumen/Zeit) Vorgehen denkbar.	Vorauswahl verschiedener Alkohole, um Variablenkontrolle zu ermöglichen. Vorauswahl von Materialien
Durchführung mit Beobachtung & Dokumentation		x		L4	✓ Tabelle zur Aufnahme der Daten vorgeben, um für alle Unterstützung zu geben	
Auswertung & Schlussfolgerung		x		L2, L5	✓ Auswertung und Schlussfolgerung erfolgt schriftlich anhand spezieller Fragen (Prinzip des Auswertungsverfahrens vorgegeben)	

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Unterstützungsmaßnahmen

! **Erinnerung:** Hilfen in selbstgesteuerten Phasen einsetzen !

Hilfen zur Planung und Durchführung
- Zu Beginn jeweils metakognitive Hilfe zur Problemstrukturierung
- Informationsinput/Aktivierung von Vorwissen
- Anregung zur Variablenkontrolle (Frage + Antwort)
- schrittweise konkretere Hilfen bis hin zu einer Musterlösung

Hilfen zur Auswertung und Schlussfolgerung
- Fokussierung auf wichtige Aspekte (z.B. Teilchenebene, Wechselwirkungen)
- jeweils Frage- & Antwortkarte

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Einbettung

fachimmanent
- ✓ Kurze Hinführung zum Experiment
- ✓ zuvor behandelte Themen kurz thematisiert
  - ✓ strukturelle Eigenschaften der Alkohole
  - ✓ physikalische Eigenschaften im Allgemeinen
- → Möglichkeit zur Ableitung einer Fragestellung
- ✓ in Bezug setzen des vorliegenden Experiments

lebensweltlich
- ✓ keine explizite lebensweltliche Einbettung
- ✓ Grund 1: Fokus liegt bei der Struktur-Eigenschafts-Beziehung der Alkohole → fachliche Hintergründe aufgreifen
- ✓ Grund 2: lebensweltliche Einbettung evtl. eher am Anfang des Themenbereichs
- ✓ **Grund 3: „unnötige" Textfülle vermeiden**

Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE
Universität Regensburg

Quellen

Abrahams, I. & Millar, R. (2008). Does Practical Work Really Work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education, 30* (14), 1945–1969.
Börlin, J. (2012). *Das Experiment als Lerngelegenheit. Vom interkulturellen Vergleich des Physikunterrichts zu Merkmalen seiner Qualität* [Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 132]. Zugl.: Essen, Univ., Diss., 2012. Berlin: Logos-Verl.
Breitmaier, E. & Jung, G. (2012). *Organische Chemie. Grundlagen, Verbindungsklassen, Reaktionen, Konzepte, Molekülstruktur, Naturstoffe, Syntheseplanung, Nachhaltigkeit ; 145 Tabellen* [7., vollst. überarb. und erw. Aufl.]. Stuttgart: Thieme.
https://doi.org/10.1055/b-002-44908
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.
Ferdinand, P. (2007). Selbstgesteuertes Lernen in den Naturwissenschaften. Eine Interventionsstudie zu den kognitiven und motivationalen Effekten eines Blended Learning Ansatzes (Studien zur Schulpädagogik, Bd. 52). Zugl.: Koblenz-Landau, Univ., Diss., 2007. Hamburg: **Kovač**.
Forschergruppe Kassel. (2006). Archimedes und die Sache mit der Badewanne. *Diagnostizieren und Fördern: Stärken entdecken - Können entwickeln, 24*, 84–88.
Gebhard, U., Hößtecke, D. & Rehm, M. (2017). *Pädagogik der Naturwissenschaften. Ein Studienbuch* (Lehrbuch). Wiesbaden: Springer VS.
Glaser, R., Schauble, L., Raghavan, K. & Zeitz, C. (1992). Scientific Reasoning Across Different Domains. In E. de Corte, M. C. Linn, H. Mandl & L. Verschaffel (Hrsg.), *Computer-based learning environments and problem solving* (NATO ASI series. Series F, Computer and system sciences, vol. 84, S. 345–371). Berlin: Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-642-77228-3_16
Gößling, J. V. (2010). *Selbständig entdeckendes Experimentieren. Lernwirksamkeit der Strategieanwendung*. Dissertation. Universität Duisburg Essen, Duisburg Essen. Zugriff am 23.11.2017.
Hammann, M. (2004). Kompetenzentwicklungsmodelle. Merkmale und ihre Bedeutung - dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 57*, 196–203.
Hammann, M., Phan, T. T. H., Ehmer, M. & Bayrhuber, H. (2006). Fehlerfrei Experimentieren. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 59*, 292–299.

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Quellen

Hänze, M., Schmidt-Weigand, F. & Blum, S. (2007). Mit gestuften Lernhilfen im naturwissenschaftlichen Unterricht selbstständig lernen und arbeiten. In K. Rabenstein & S. Reh (Hrsg.), *Kooperatives und selbstständiges Arbeiten von Schülern. Zur Qualitätsentwicklung von Unterricht* (1. Aufl., S. 197–208). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-531-90418-1_10

Hänze, M., Schmidt-Weigand, F. & Stäudel, L. (2010). Gestufte Lernhilfen. In S. Boller & R. Lau (Hrsg.), *Individuelle Förderung durch innere Differenzierung. Ein Praxishandbuch für Lehrerinnen und Lehrer der Sekundarstufe II* (S. 63–75). Weinheim: Beltz.

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 Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Helmke, A. (2009). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts* (1. Auflage). Franz Emanuel Weinert gewidmet. Seelze-Velber: Klett/Kallmeyer.

Helmke, A. (2014). Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts ; Franz Emanuel Weinert gewidmet (Unterricht verbessern - Schule entwickeln, 5. Aufl., [aktualis. Aufl., berücks. die Hattie-Studien]. Seelze-Velber: Klett/Kallmeyer.

Hodson, D. (1996). Practical work in school science. Exploring some directions for change. *International Journal of Science Education, 18* (7), 755–760.

Hof, S. (2011). *Wissenschaftsmethodischer Kompetenzerwerb durch forschendes Lernen. Entwicklung und Evaluation einer Interventionsstudie*. Zugl.: Kassel, Univ., Diss., 2010. Kassel: Kassel Univ. 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.

Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education. Foundations for the twenty-first century. *Science Education, 88* (1), 28–54.

Hopf, M. (2007). *Problemorientierte Schülerexperimente* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 68). Zugl.: München, Univ., Diss., 2007. Berlin: Logos-Verl.

Institut für Bildungsanalysen (Hrsg.). *Zeichnen von Versuchsskizzen*. Zugriff am 03.01.2019. Verfügbar unter http://www.schule-bw.de/faecher-und-schularten/mathematisch-naturwissenschaftliche-faecher/chemie/neuer-index.html/zuerstliches-fuer-die-unterrichtsvorbereitung/skizze

Wintersemester 2019/20

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Quellen

Janich, P. (1995). Experiment. In J. Mittelstraß (Hrsg.), *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie* (Bd. 1, 2. Aufl., S. 621–622). Weimar: J.B. Metzler.

Kattmann, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (Springer-Lehrbuch, S. 93–104). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3*, 3–18.

Kechel, J.-H. (2016). Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren. Dissertation. Logos Verlag Berlin GmbH.

Kipnis, M. & Hofstein, A. (2008). The Inquiry Laboratory as a Source for Development of Metacognitive Skills. *International Journal of Science and Mathematics Education, 6* (3), 601–627.

Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual Space Search During Scientific Reasoning. *Cognitive Science, 12* (1), 1–48.

Koenen, J., Emden, M. & Sumfleth, E. (Hrsg.). (2016). *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung* (Ganz In - Materialien für die Praxis). Münster: Waxmann.

Kultusministerkonferenz (Hrsg.). (2004). *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Bildungsabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*.

Latscha, H. P., Kazmaier, U. & Klein, H. A. (2018). *Organische Chemie. Chemie-Basiswissen II* (Springer-Lehrbuch, 7. Auflage). Berlin: Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-46180-8

Lunetta, V. N. (1998). The School Science Laboratory: Historical Perspectives and Contexts for Contemporary Teaching. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (Kluwer international handbooks of education, vol. 2, pp. 249–262). Dordrecht: Kluwer. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4940-2_16

Maisevenka, V. (2014). Modellbasiertes Experimentieren im Unterricht: Praxistauglichkeit und Lernwirkungen: Logos Verlag.

Mannel, S. (2011). *Assessing scientific inquiry. Development and evaluation of a test for the low-performing stage* (Studien zum Physik- und Chemielernen, vol. 111). Zugl.: Duisburg, Essen, Univ., Diss., 2010. Berlin: Logos-Verl.

Marschner, J. (2015). *Adaptives Feedback zur Unterstützung des selbstregulierten Lernens durch Experimentieren*. Dissertation. Universität Duisburg-Essen, Duisburg-Essen. Zugriff am 19.12.2018.

Mauren, C. & Rincke, K. (2013). Zielgerichtetes Experimentieren. In S. Bernholt (Hrsg.), *Inquiry-based Learning - Forschendes Lernen* (S. 119–121). Kiel: IPN-Verlag.

Wintersemester 2019/20

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Quellen

Nerdel, C. (2017). *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik. Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule*. Berlin: Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53158-7

Pfeifer, P., Lutz, B. & Bader, H. J. (2002). *Konkrete Fachdidaktik Chemie* (3. Aufl.). München: Oldenbourg.

Prenzel, M. & Parchmann, I. (2003). Kompetenz entwickeln - Vom naturwissenschaftlichen Arbeiten zum naturwissenschaftlichen Denken. *Naturwissenschaften im Unterricht/Chemie, 14*, 15–19.

Priemer, B. (2011). Was ist das Offene beim offenen Experimentieren? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 17*, 315–337.

Reiss, K., Sälzer, C., Schiepe-Tiska, A., Klieme, E. & Köller, O. (Hrsg.). (2016). *PISA 2015. Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation*. Münster: Waxmann.

Rincke, K. (2015). Experimente und ihre Funktionen.

Rumann, S. (2005). *Kooperatives Experimentieren im Chemieunterricht. Entwicklung und Evaluation einer Interventionsstudie zur Säure-Base-Thematik*. Universität Duisburg-Essen. Verfügbar unter http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-13129/Gesamtfassung_Rumann.pdf

Schimmelset, T., Schmuck, C., Wich, P. R. & Bamberger, D. (2016). *Beyer/Walter Organische Chemie. Mit 2309 Abbildungen und 28 Tabellen und Poster "Taschenfalter"* (25., völlig neu bearbeitete Auflage). Stuttgart: Hirzel Verlag.

Schmidt-Weigand, F., Franke-Braun, G. & Hänze, M. (2006). Erhöhen gestufte Lernhilfen die Effektivität von Lösungsbeispielen? Eine Studie zur kooperativen Bearbeitung von Aufgaben in den Naturwissenschaften. *Unterrichtswissenschaft, 36*, 365–384.

Schreiber, N., Theyßen, H. & Schecker, H. (2009). Experimentelle Kompetenz messen?! *PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, 3*, 92–101.

Schulz, A. (2011). *Experimentierspezifische Qualitätsmerkmale im Chemieunterricht*. Zugl.: Duisburg, Essen, Univ., Diss., 2010. Logos, Berlin.

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* (S. 15–38). [s.l.]: Waxmann Verlag.

Schweingruber, H. A., Hilton, M. L. & Singer, S. R. (Eds.). (2006). *America's lab report. Investigations in high school science*. Washington, D.C: National Academies Press.

Schwichow, M., Croker, S., Zimmerman, C., Höffler, T. & Härtig, H. (2016). Teaching the control-of-variables strategy: A meta-analysis. *Developmental Review, 39*, 37–63.

Wintersemester 2019/20

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Quellen

Siegler, R. S. & Liebert, R. M. (1975). Acquisition of formal scientific reasoning by 10- and 13-year-olds: Designing a factorial experiment. *Developmental Psychology, 11* (5), 401–402.

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung. (2019). LehrplanPlus. Zugriff am 01.041.2019. Verfügbar unter https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/9/chemie/ch-nte

Ströbe, M., Tepner, O. & Sumfleth, E. (2016). Einsatz von Experimenten im Chemieunterricht - Ergebnisse aus ProwiN 2. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis* (Bd. 37, S. 384–387).

Sumfleth, E., Rumann, S. & Nicolai, N. (2004). Schulische und häusliche Kooperation im Chemieanfangsunterricht. In J. Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule. Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung ; [BIQUA]* (S. 284–302). Münster u.a.: Waxmann.

Telser, V. (in Vorbereitung). Experimentelle Kompetenz von Lehrkräften. Entwicklung und Evaluation einer Lehrkräftefortbildung mit dem Titel **„Elektro- und Photochemie für den Unterricht". Dissertation. Universität Regensburg.**

Tesch, M. (2005). *Das Experiment im Physikunterricht. Didaktische Konzepte und Ergebnisse einer Videostudie* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 42). Zugl.: Kiel, Univ., Diss., 2005. Berlin: Logos-Verl.

Van Joolingen, W. R. (1999). Cognitive tools for discovery learning. *International Journal of Artificial Intelligence in Education, 10*, 385–397.

Vollmer, G. (2005). "Experiment". In D. Freudig (Hrsg.), *Lexikon der Biologie auf CD-Rom*. Heidelberg: Spektrum, Akademischer Verlag.

Wahser, I. (2008). *Training von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Fach Chemie. Eine experimentelle Laborstudie* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 73). Berlin: Logos.

Wahser, I. & Sumfleth, E. (2008). Training experimenteller Arbeitsweisen zur Unterstützung kooperativer Kleingruppenarbeit im Fach Chemie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 14*, 215–241.

Walpuski, M. (2006). *Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback. Eine empirische Studie* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 48). Zugl.: Duisburg-Essen, Univ., Diss., 2006. Berlin: Logos-Verl.

Walpuski, M. & Haucke, A. (2017). Experimente und Lernerfolg. Wie können Experimentierphasen optimiert werden, um Interesse und Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler zu erhöhen? Naturwissenschaften im Unterricht/Chemie, 28, 8–13.

Walpuski, M. & Sumfleth, E. (2007). Strukturierungshilfen und Feedback zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Chemieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 13*, 181–198.

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Quellen

Welzel, M., Haller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumaras, P., Niedderer, H. et al. (1998). Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden - Ergebnisse einer europäischen Umfrage. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 4*, 29–44.

Wirth, J., Thillmann, H., Künsting, 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*, 361–375.

Universität Regensburg
Florian Seiler
Didaktik der Chemie
FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE

Vielen Dank für Ihre

Aufmerksamkeit!

10.4 Beispiele und Musterprotokoll

Name: | Klasse: | Datum:

Struktur-Eigenschafts-Beziehungen der Alkanole

In den letzten Stunden haben wir die homologe Reihe der Alkohole eingeführt und erste Eigenschaften besprochen. Wie schon bei der homologen Reihe der Alkane, zeichnet sich diese durch schrittweises Hinzufügen einer CH_2-Gruppe aus. Heute wollen wir den Zusammenhang zwischen der Länge der Kette bestimmter Alkohole und der damit verbundenen physikalischen Eigenschaften untersuchen. Zu physikalischen Eigenschaften zählen neben Siede- und Schmelztemperatur unter anderem die Löslichkeit in verschiedenen Lösungsmitteln. So lässt sich beispielsweise folgende Fragestellung formulieren:

F *Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Kettenlänge von Alkoholen und ihrer Löslichkeit in polaren bzw. unpolaren Lösungsmitteln?*

Eva und Peter stellen dazu folgende Hypothese auf:

H *Je länger die Kette, desto schlechter löst sich der Alkohol in polaren Lösungsmitteln und desto besser in unpolaren Lösungsmitteln!*

Arbeitsaufträge:

1. **Führt das folgende Experiment durch, um die Hypothese von Eva und Peter zu überprüfen!**
2. **Haltet eure Beobachtungen in der vorgefertigten Tabelle fest!**
3. **Wertet die Beobachtungen eures Experiments hinsichtlich der formulierten Hypothese aus!**
4. **Formuliert einen Erklärungsansatz!**

Achtet darauf, dass ihr beim Experimentieren immer eure Schutzkittel und Schutzbrillen tragt!

Gebt bitte nach dem Experimentieren alle Lösungen in den bereitgestellten Abfallbehälter!

Folgende Geräte und Chemikalien werden benötigt:	
1 Reagenzglasständer	2 x 5 mL Ethanol
4 Reagenzgläser	2x 5 mL 1-Butanol
2 Pasteur-Pipetten	2 x 5 mL 1-Hexanol
	2 x 5 mL Heptan
	2x 5 mL destilliertes Wasser

Durchführung:

1. Fülle in je zwei Reagenzgläser 5 mL Ethanol, 5 mL 1-Butanol bzw. 5 mL 1-Hexanol.
2. Gib nun 5 mL dest. Wasser bzw. 5 mL Heptan in je ein mit Ethanol, mit 1-Butanol und ein mit 1-Hexanol befülltes Reagenzglas (siehe Abbildung 1)
3.

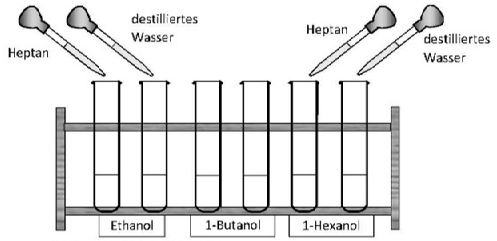


Abbildung 1: Aufbau der Untersuchung

Beobachtungen:

	Anzahl der C-Atome	Zugabe von dest. Wasser	Zugabe von Heptan
Ethanol			
1-Butanol			
1-Hexanol			

Auswertung:

Lässt sich nun die von Eva und Peter aufgestellte Hypothese bestätigen oder widerlegen? Begründe deine Aussage!

Formuliert einen Erklärungsansatz für den beobachteten Trend!

Name: | Klasse: | Datum:

Struktur-Eigenschafts-Beziehungen der Alkanole

In den Vorstunden haben wir bereits die Stoffklasse der Alkohole am Beispiel der Alkanole behandelt. Diese bestehen aus mindestens einer Hydroxygruppe und einem Alkylrest. Die Alkylreste können sich hinsichtlich der Anzahl der Kohlenstoffatome (Kettenlänge) und ihrem Verzweigungsgrad unterscheiden. Heute sollt ihr den Zusammenhang zwischen dem molekularen Bau nicht verzweigter Alkanole und ihren physikalischen Eigenschaften experimentell untersuchen. Zu den physikalischen Eigenschaften zählen z.B. die Viskosität (Zähflüssigkeit) eines Stoffes und die Löslichkeit in unterschiedlichen Lösungsmitteln (polar/unpolar).

Arbeitsaufträge:

1. **Wählt eine Struktur-Eigenschaft und eine physikalische Eigenschaft aus, deren Zusammenhang ihr untersuchen wollt, und formuliert eine dazu passende Forschungsfrage (F)!**
2. **Notiert euch dazu eine experimentell überprüfbare Hypothese (H)!**
3. **Bevor ihr mit dem Experimentieren beginnt, stellt einen Versuchsplan auf und zeigt ihn eurer Lehrkraft!**
4. **Führt euer Experiment durch, dokumentiert eure Beobachtungen und wertet diese mit Hilfe der Fragen auf dem Auswertungsblatt aus!**

Solltet ihr nicht mehr weiterkommen, nutzt die bereitgestellten Hinweiskarten!

Folgende Geräte und Chemikalien könnten hilfreich sein:	
Reagenzglasständer	Ethanol
Reagenzgläser	1-Propanol
Pasteur-Pipetten	1,2,3-Propantriol (Glycerin)
Messpipetten mit Peleusball	1-Butanol
Pasteurpipetten	1-Hexanol
Handy	1,2-Hexandiol
Bechergläser	1-Octanol
Stativ mit Muffen und Klemmen	1,2-Octandiol
	Heptan
	Waschbenzin
	destilliertes Wasser

Achtet darauf, dass ihr beim Experimentieren immer eure Schutzkittel und Schutzbrillen tragt!

Gebt bitte nach dem Experimentieren alle Lösungen in den bereitgestellten Abfallbehälter!

Welcher Zusammenhang besteht zwischen ...

F

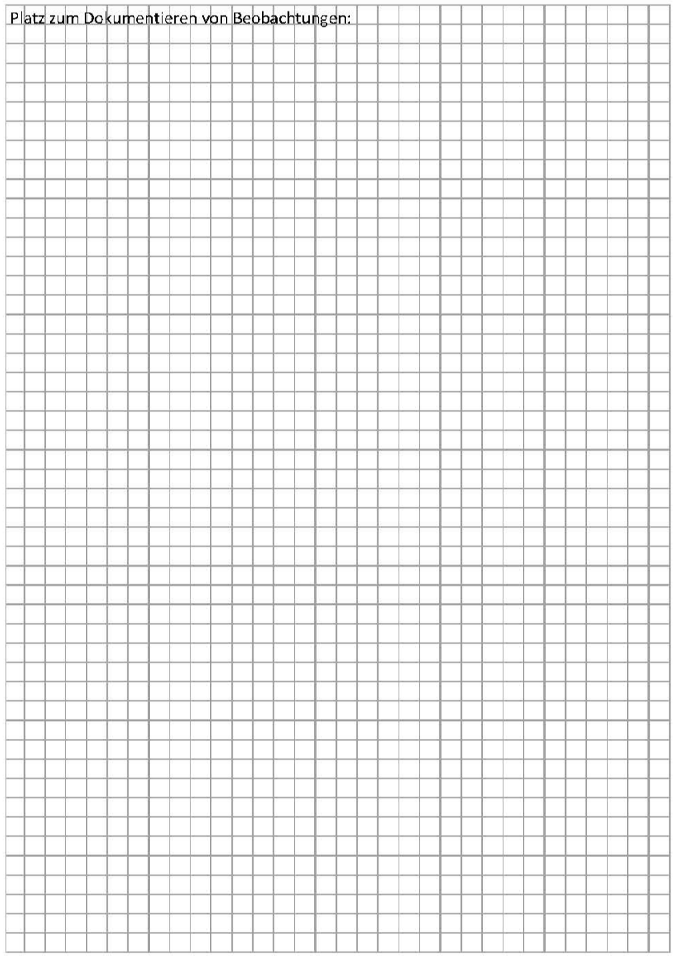
H

Planung:

Skizze zum Versuchsplan:

Schriftlicher Versuchsplan:

Platz zum Dokumentieren von Beobachtungen:



3

Auswertung und Schlussfolgerung:

Lässt sich nun eure formulierte Hypothese bestätigen oder widerlegen? Begründet eure Aussage!

Formuliert eine Regel zu eurer überprüften Struktur-Eigenschafts-Beziehung!

Wie könnte man den beobachteten Trend erklären? Formuliert dazu einen Erklärungsansatz!

4

Universität Regensburg
Didaktik der Chemie

Chemische Schulversuche

Dozent:	Florian Seiler
Protokollführer:	Florian Seiler
Teilnehmercode:	C A M A 0 1
Versuchstag:	05.03.2019
Versuchsnummer und Thema:	Nr. 1 - Wechselwirkungskonzept
Versuchstitel:	Zusammenhang zwischen der Kettenlänge und den physikalischen Eigenschaften von Alkanolen.

Benötigte Arbeitszeit:	Arbeitszeit, die Sie zur Entwicklung benötigt haben.
Lehrplaneinordnung:	L 9.5 (NTG)
Hauptlernziel	SuS sollen den Einfluss der Kettenlänge auf die physikalischen Eigenschaften von Alkoholen unter besonderer Berücksichtigung zwischenmolekularer Wechselwirkungen erklären können.
Schwierigkeitsgrad:	einfach ☐ ☒ ☐ schwierig

Vom Praktikumsleiter bzw. Korrektor auszufüllen

Datum: Klicken oder tippen Sie, um ein Datum einzugeben.

Note:

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

1,0 1,3 1,7 2,0 2,3 2,7 3,0 3,3 3,7 4,0 5,0

Kürzel Korrektor:

Teil A - Beschreibung des Experiments

A.1 - Benötigte Geräte und Chemikalien

Geräte	Chemikalien
- Reagenzglasständer - Reagenzgläser - Gummistopfen - Pasteur-Pipetten - Mosspipette mit Poleusball - Stoppuhr (Handy) - Bechergläser - Stativ mit Muffe und Klemme	- Ethanol - Propan-1-ol - Propan-1,2,3-triol (Glycerin) - Hexan-1-ol - Hexan-1,2 diol - Octan-1-ol - Heptan - Waschbenzin - Destilliertes Wasser

A.2 - Möglicher Versuchsaufbau

Aufgrund der fachinhaltlichen Offenheit ergeben sich zwei zu untersuchende Aspekte. Die SuS können den Zusammenhang zwischen der Kettenlänge und der Löslichkeit in polaren/unpolaren Lösungsmitteln oder den Zusammenhang zwischen der Kettenlänge und der Viskosität untersuchen.

Möglicher Versuchsaufbau für Untersuchung der Löslichkeit:

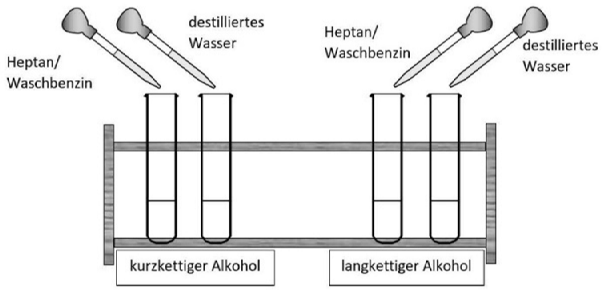


Abbildung 1: Aufbau Löslichkeitsuntersuchung

Möglicher Versuchsaufbau für Untersuchung der Viskosität:

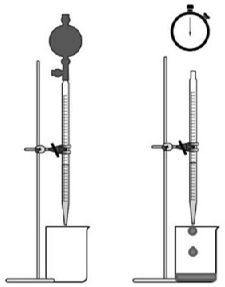


Abbildung 2: möglicher Aufbau der Viskositätsuntersuchung

A.3 - Mögliche Versuchsdurchführung

Durchführung der Löslichkeitsuntersuchung:
In je zwei Reagenzgläser werden vergleichbare Mengen der zu untersuchenden Alkohole gegeben. Die Alkohole dürfen sich nur in ihrer Kettenlänge unterscheiden. Anschließend wird zu jedem Alkohol in je ein Reagenzglas gleiche Mengen Waschbenzin bzw. dest. Wasser gegeben. Anschließend wird jeweils gut **geschüttelt (Gummistopfen!) und die Reagenzgläser „zur Beruhigung" in den Reagenzglasständer gestellt** (Blume, 2011).
Versetzt man die Lösungen, die dest. Wasser enthalten noch mit einer wasserlöslichen Farbe, lassen sich entstehende Phasengrenzen besser hervorheben (vgl. auch Gold, 2013 a).

Durchführung der Viskositätsuntersuchung:
Die entsprechenden Alkohole werden mit Hilfe des Peleus-Balls bis zur 10 mL-Markierung (auch andere denkbar) der Messpipette aufgezogen. Anschließend wird gleichzeitig der Peleus-Ball entfernt und die Stoppuhr aktiviert. Beim Durchschreiten einer zuvor festgelegten Marke wird gestoppt.
Um abgesicherte Werte zu bekommen, sollte jeder Versuch zweimal durchgeführt werden (Gold, 2013 b)

A.4 - Erwartete Beobachtung(en)

Beobachtungen bei der Löslichkeitsuntersuchung:
Bei gleicher Anzahl an Hydroxygruppen, sinkt die Löslichkeit in Wasser mit zunehmender Kettenlänge des Alkoholmoleküls. Butan-1-ol und Hexan-1-ol bilden eine klar erkennbare Phase über dem grün angefärbten Wasser. Die Löslichkeit in Waschbenzin bleibt bei allen drei Alkoholen in etwa gleich. Hier bilden sich keine Phasen aus.

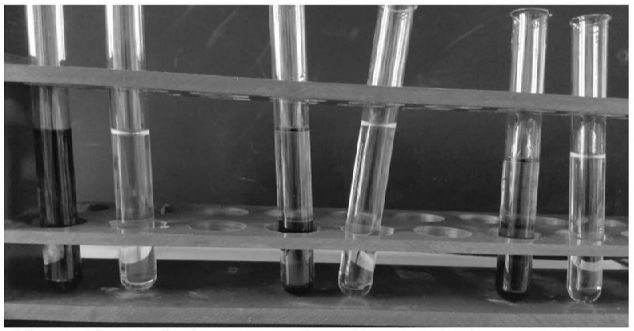


Abbildung 3: von links: Propan-1-ol mit dest. Wasser, Propan-1-ol mit Waschbenzin, Butan-1-ol mit dest. Wasser, Butan-1-ol mit Waschbenzin, Hexan-1-ol mit dest. Wasser und Hexan-1-ol mit Waschbenzin; die wässrige Phase ist jeweils mit grüner Lebensmittelfarbe angefärbt.

Beobachtungen bei der Viskositätsuntersuchung:
Bei gleicher Anzahl an Hydroxygruppen steigt mit zunehmender Kettenlänge des Alkoholmoleküls die Viskosität. Das bedeutet die Fließgeschwindigkeit verringert sich mit zunehmender Kettenlänge. In nachfolgender Tabelle sind die Fließgeschwindigkeiten der verwendeten Alkohole eingetragen.

Tabelle 1: Fließgeschwindigkeiten der verwendeten Alkohole

Alkohol	**Ethanol**	**Pentan-1-ol**	**Octan-1-ol**
Fließgeschwindigkeit in mL/s	**1,5**	**1**	**0,9**

A.5 - Hinweise zur Durchführung

a) Gefahren:

Beim Schütteln der Lösungen dringend einen Stopfen verwenden, direkten Kontakt mit den Fingern vermeiden!

b) Schwierigkeiten (insbesondere für Schülerinnen und Schüler):

Bei Viskositätsuntersuchung:
Auf senkrechtes Einspannen der Pipette ist zu achten.
Allgemein:
SuS achten häufig nicht auf die Kontrolle von Variablen und könnten die Alkohole so wählen, dass keine Aussage über den Zusammenhang zwischen der Kettenlänge und den physikalischen Eigenschaften möglich ist.

c) Zeitaufwand in Minuten:

Vorbereitung	Durchführung	Aufräumen	Entsorgung
5 (3) min	5 (7) min	3 (3) min	2 (2) min

d) Sonstige Hinweise:
-

Teil B - Fachliche Hintergründe

Die Alkohole (auch Alkanole) sind organische Verbindungen, die eine oder **mehrere OH-Gruppen** im Molekül enthalten (Latscha, Kazmaier & Klein, 2016). Man erhält sie formal aus dem entsprechenden Alkanen, in dem ein oder mehrere Wasserstoffatome durch OH-Gruppen ersetzt werden. Je nachdem, wie viele OH-Gruppen in einem Molekül vorhanden sind, spricht man von ein-, zwei- oder entsprechend mehrwertigen Alkoholen (Schirmeister, Schmuck, Wich & Bamberger, 2016).
Im Vergleich zu den entsprechenden Alkanen besitzen die Alkohole höhere Siedepunkte und deutlich andere Lösungseigenschaften (Schirmeister, Schmuck, Wich & Bamberger, 2016).
Grund dafür ist die charakteristische OH-Gruppe. Durch die hohe Elektronegativität des Sauerstoffs im Vergleich zum Wasserstoff, weist das Sauerstoffatom eine negative und das Wasserstoffatom eine positive Partialladung auf. Es entsteht ein Dipol, der mit den Dipolen anderer Hydroxy-Gruppen in Form von Wasserstoff-Brücken wechselwirken kann (Schirmeister, Schmuck, Wich & Bamberger, 2016).

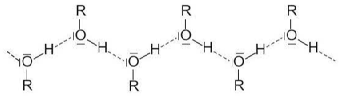


Abbildung 4: Assoziation der Moleküle über Wasserstoff-Brückenbindungen (Latscha, Kazmaier & Klein, 2016)

Die gute Wasserlöslichkeit kurzkettiger Alkohole beruht darauf, dass auch zwischen den Wasser- und Alkohol-Molekülen Wasserstoffbrücken ausgebildet werden können (Breitmeier & Günther, 2012). Trotzdem sorgt der unpolare Alkylrest bei kurzkettigen Alkoholen dafür, dass sie auch in unpolaren Lösungsmitteln (wie Waschbenzin) löslich sind. So kann erklärt werden, warum in Abb. 3 die jeweils rechten Reagenzgläser jeweils nur eine Phase aufweisen.
Der Einfluss des unpolaren Kohlenwasserstoffrestes kompensiert allerdings mit steigender relativer Molekülmasse die Polarität der OH-Gruppe, sodass Alkohole mit längere Kohlenstoff-Kette in ihren Eigenschaften stärker den jeweiligen Alkanen ähneln (Schirmeister, Schmuck, Wich & Bamberger, 2016). Beispielsweise werden die Alkohole mit zunehmender Kettenlänge immer viskoser, da die van-der-Waals-Wechselwirkungen zwischen den Alkylgrupper (wie bei den Alkanen) steigt. Ihre Löslichkeit in Wasser nimmt ab (Breitmeier & Günther, 2012).
Während die kurzkettiger Alkanole bis Propan-1-ol noch unbegrenzt in Wasser löslich sind, nimmt die Löslichkeit in Wasser ab Butan-1-ol mit steigender Kette ab. Decan-1-ol ist schließlich bereits unlöslich in Wasser (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Eigenschaften primärer Alkohole (Breitmeier & Jung, 2012)

Klasse	Konstitutionsformel	IUPAC-Bezeichnung	Trivialname -alkohol	Schmelzpunkt °C	Siedepunkt °C (1011 mbar)	Löslichkeit g/100 g H_2O
aliphatisch gesättigt primär	H_3C—OH	Methanol	Methyl-	- 97	64,5	unbegrenzt
	H_3C-CH_2- OH	Ethanol	Ethyl-	- 115	78,2	unbegrenzt
	H_3C-CH_2- CH_2- OH	1-Propanol	n-Propyl-	- 126	97	unbegrenzt
	H_3C-$[CH_2]_2$-CH_2- OH	1-Butanol	n-Butyl-	- 90	118	7,9
	H_3C-$[CH_2]_3$- CH_2-OH	1-Pentanol	n-Amyl-	- 78,5	138	2,3
	H_3C-$[CH_2]_4$-CH_2- OH	1-Hexanol	n-Hexyl-	- 52	156	0,6
	H_3C-$[CH_2]_5$- CH_2-OH	1-Heptanol	n-Heptyl-	- 34	176	0,2
	H_3C-$[CH_2]_6$-CH_2-OH	1-Octanol	n-Octyl-	- 15	195	0,05
	H_3C-$[CH_2]_8$-CH_2- OH	1-Decanol	n-Decyl-	6	288	unlöslich

Teil C - Didaktische Entscheidungen

C.1 - Lehrplaneinordnung

Dieses Schülerexperiment lässt sich dem Lernbereich NTG L 9.5 zuordnen. Da zur Formulierung des Erklärungsansatzes Wissen über die homologe Reihe der Alkane (L 9.2) und vor allem auch über mögliche zwischenmolekulare Wechselwirkungen (L 9.5) benötigt wird, sollte dieses Experiment im Lernbereich 9.5 erst nach den Wechselwirkungen bearbeitet werden.

C.2 - Analyse der Lerngruppe

- Vorwissen: homologe Reihe und physikalische Eigenschaften der Alkane.
  Notwendig zur Formulierung des Erklärungsansatzes.
  Hypothesen können mit Hilfe des Hypothesenblattes generiert werden (hier also nicht zwingend Vorwissen erforderlich). Die SuS sollten dennoch wissen, wie eine experimentell überprüfbare Hypothese aufgebaut ist.
- Vorwissen: Um das Experiment möglichst selbstständig auswerten zu können, sollte der Themenkomplex der zwischenmolekularen Wechselwirkungen schon behandelt worden sein. Auf dieses Wissen kann dann zurückgegriffen werden, bzw. kann es durch entsprechende kognitive Hilfen aktiviert werden.
- exp. Fähigkeiten: Grundlagen bekannt (in 9. Klasse auch möglich). Strategie der Variablenkontrolle sollte besprochen sein, damit die SuS diese bei der Planung ihres Experiments mit einbeziehen können. Hier werden sicherheitshalber auch noch Hilfen angeboten.
- Fehlvorstellungen: Je Viskoser der Stoff, desto öl-ähnlicher wirkt er möglicherweise auf die SuS, was zu Problemen bei der Planung und Auswertung der Untersuchung führen kann.
- Heterogene Gruppe -> Hilfekarten bieten Binnendifferenzierung

C.3 - Ziele, Kompetenzen und Funktionen des Experiments

- **L1:** SuS sollen die physikalischen Eigenschaften ausgewählter Alkohole beschreiben können (F 1.1).
- **L2:** SuS sollen den Einfluss der Kettenlänge auf die physikalischen Eigenschaften von Alkoholen unter besonderer Berücksichtigung zwischenmolekularer Wechselwirkungen erklären können (F 1.4, F 2.2).
- **L3:** SuS sollen selbstständig eine geeignete Untersuchung zur Überprüfung einer selbst gewählten Hypothese planen können (E2).
- **L4:** SuS sollen selbstständig eine Untersuchung durchführen und protokollieren können (E3, E4, K6, K7).
- **L5:** SuS sollen selbstständig in den erhobenen Daten Beziehungen finden (E5, E6).
- Funktion: Hypothesentestendes Experiment

C.4 - Offenheit des Experimentierprozesses

- Fachinhaltliche Herangehensweise: Auswahl zwischen vers. Struktur-Eigenschafts-Beziehungen
  - Entscheidungsfreiheit für SuS, durch Vorauswahl aber keine Überforderung
  - Untersuchung der Löslichkeit etwas einfacher, als Viskositätsuntersuchung
    evtl. Binnendifferenzierung (stärkere SuS untersuchen die Viskosität).
- Experimentierschritte (Phasen) sind vorgegeben, um den Experimentierprozess für SuS zu strukturieren
- Fragestellung ist vorgegeben, da hier nicht der Fokus des Experimentierprozesses liegt (Verringerung der Komplexität).
- Vorskizzierung der Hypothesenbildung durch das Hypothesenblatt:
  - SuS können ohne viel Aufwand und Vorwissen experimentell überprüfbare Hypothese aufstellen
  - prinzipielle Aufbau und die Notwendigkeit von Hypothesen
  - Ziel vorwiegend selbstständiges Planen der Untersuchung, deshalb sollen SuS zwar Hypothesen aufstellen, aber nicht zu viel Zeit darauf verwenden
- Planung, Aufbau und Durchführung geschieht durch SuS
  - Festlegung des Versuchsdesigns ist offen gestaltet (→ **L3**)
  - Wichtiger Aspekt bei der Planung des jeweiligen Experiments ist die Variablenkontrolle, weshalb die SuS selbst darauf achten sollen. Diese ist vorskizziert (Hinweis auf die Kontrolle von Variablen zu achten) (→ **L3**).

- Geringe Vorgaben zur Planung der Untersuchung → selbst qualitativen oder quantitativen Ansatz wählen. bei der Untersuchung der Viskosität macht quantitative Vorgehensweise mit festgelegten Volumina und gemessenen Zeiten mehr Sinn → alle Hilfen sind darauf ausgelegt, dass SuS quantitativ arbeiten. Tabelle zur Protokollierung enthält Hinweis, dass man die Zeit messen muss. Hier ist die Vorgehensweise damit vorskizziert.
- Anzahl aufzunehmender Messwerte durch vorgegebene Tabellen festgelegt. Generell sollen die Tabellen die SuS in dieser Phase des Experimentierens unterstützen und den SuS die Entscheidung abnehmen, wie die erhobenen Daten protokolliert werden sollen.
- Auswertung und Schlussfolgerung durch spezielle Fragen vorskizziert.
  - Auswertung und Schlussfolgerung vorskizziert, um SuS zu lenken und Überforderung zu vermeiden
  - konkreter Rückbezug zur Hypothese verlangt, um den EGP zu betonen und zu trainieren.
- Vorauswahl an Labormaterialien und Chemikalien, um gewisse Entscheidungsfreiheit auch im Rahmen der **Planung und Durchführung zu gewährleisten und nicht gleich den „richtigen" Lösungsweg vorzugeben.** Damit müssen sich die SuS schon bei der Planung selbst um die Kontrolle der Variablen kümmern und sind selbst dafür verantwortlich ein nicht konfundiertes Experiment zu planen.

C.5 - Optionale Unterstützung

- Unterstützung der SuS bei der Planung, Durchführung und Auswertung durch optionale Hilfekarten, um der Heterogenität in der Klasse gerecht zu werden und die SuS zu unterstützen. Damit ist auch für schwächere SuS ein erfolgreiches Durchlaufen des Prozesses ermöglicht.
- Hilfen sowohl für die Untersuchung der Löslichkeit, als auch für die Untersuchung der Viskosität
- Mischung aus metakognitiven, kognitiven und methodischen Hilfen.
- Stufung der Hilfen (mit steigender Nummer werden diese immer konkreter)
- Generell: Einige Hilfen mit Fragen- und Antwortteil (F+A), der Fragenteil soll Vorwissen aktivieren, die Antwort gibt inhaltliche Hilfen, falls die SuS nicht weiterkommen oder kann von den SuS zur Überprüfung herangezogen werden.
- Tipp 1 ist bei beiden Varianten eine metakognitive Hilfe (Paraphrasierung oder Visualisierung).
- Tipp 2 (F+A) zur Variablenkontrolle
- Viskosität:
  - Tipp 3 (F + A): Elaboration zur Unterscheidung dünn- und dickflüssiger Stoffe (F + A)
  - Tipp 4 (F + A): Fließgeschwindigkeit von Stoffen
  - Tipp 5: Konkrete Hinweise auf die Vorgehensweise.
  - Tipp zur Durchführung Schritt 1 und 2 ist eine Musterlösung zur Vorgehensweise, falls die SuS auf gar keinen Lösungsansatz kommen.
- Löslichkeit:
  - Tipp 3: inhaltliche Hilfe zur Polarität der Lösungsmittel Wasser und Heptan/Waschbenzin
  - Tipp 4: konkrete Hinweise zur Vorgehensweise (methodisch/inhaltliche Hilfe),
  - Tipp 5: Abbildung zum möglichen Aufbau
- Tipps zur Auswertung für beide Untersuchungen geeignet:
  - Tipp 1: Anstoß zur Elaboration, in dem Teilchenebene erwähnt wird.
  - Tipp 2, 3 und 4 (F + A): Wechselwirkungen zwischen den Teilchen und die Ähnlichkeit zur Stoffklasse der Alkane und deren physikalischen Eigenschaften

C.6 - Reflexion (Konsequenzen aus den Feedbackbögen)

Formulieren Sie hier Ihre schriftliche Reflexion auf Basis der Feedbackbögen und Ihrer gesammelten Erfahrung beim Durchführen der Experimente Ihrer Kommilitoninnen und Kommilitonen.

Teil D - Anhang

D.1 - Arbeitsmaterialien
D.2 - Gefährdungsbeurteilung
D.3 - Quellenangaben

Name: | Klasse: | Datum:

Struktur-Eigenschafts-Beziehungen der Alkanole

In den letzten Stunden haben wir bereits die homologe Reihe der Alkohole eingeführt und erste Eigenschaften besprochen. Wie schon bei der homologen Reihe der Alkane, zeichnet sich diese durch schrittweises Hinzufügen einer CH_2-Gruppe aus. Heute wollen wir den Zusammenhang zwischen der Länge der Kette bestimmter Alkohole und der damit verbundenen physikalischen Eigenschaften untersuchen. Zu physikalischen Eigenschaften zählen neben der Siede- und Schmelztemperatur und der Viskosität (Zähflüssigkeit) unter anderem die Löslichkeit in verschiedenen Lösungsmitteln. So lässt sich beispielsweise folgende Fragestellung formulieren:

F: *Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Kettenlänge von Alkoholen und ihren physikalischen Eigenschaften (Viskosität/Löslichkeit)?*

Arbeitsaufträge:

1. **Formuliert mit Hilfe des Hypothesenblattes drei zur Fragestellung passende Hypothesen und wählt diejenige aus, die ihr experimentell überprüfen wollt!**
2. **Überprüft diese mit einem selbst geplanten Experiment!**
3. **Stellt zunächst einen Versuchsplan auf und zeigt ihn eurer Lehrkraft, bevor ihr mit dem Experimentieren beginnt!**
4. **Wenn ihr bei der Planung nicht weiterkommt, nutzt die ausliegenden Hinweiskarten!**
5. **Führt euer Experiment durch und notiert euch eure Beobachtungen!**
6. **Wertet die Beobachtungen eures Experiments hinsichtlich der formulierten Hypothese aus!**
7. **Formuliert einen Erklärungsansatz!**

Achtet darauf, dass ihr beim Experimentieren immer eure Schutzkittel und Schutzbrillen tragt!

Gebt bitte nach dem Experimentieren alle Lösungen in den bereitgestellten Abfallbehälter!

H: _____

Folgende Geräte und Chemikalien könnten hilfreich sein:	
Reagenzglasständer	Ethanol
Reagenzgläser	Propan-**1**-ol
Gummistopfen	Propan-**1,2,3**-triol (Glycerin)
Pasteur-Pipetten	Hexan-1-ol
Messpipette mit Peleusball	Hexan-1,2-diol
Stoppuhr (Handy)	Octan-1-ol
Bechergläser	Heptan
Stativ mit Muffe und Klemme	Waschbenzin
	destilliertes Wasser

Versuchsplan:

Tipps zur Planung: Verwendet mindestens zwei Alkohole! Achtet wie immer auf die Kontrolle von Variablen!

Skizze:

Schriftlich:

Experiment zur Überprüfung der Hypothese

Beobachtungen zum Experiment Löslichkeit:

Verwendete Chemikalien	Lösungsmittel 1:	Lösungsmittel 2:
Alkohol 1:		
Alkohol 2:		
Alkohol 3:		

Auswertung:

Lässt sich nun die von euch ausgewählte Hypothese bestätigen oder widerlegen? Begründet eure Aussage!

Welche Erkenntnis lässt sich daraus gewinnen?

Formuliert einen Erklärungsansatz für den beobachteten Trend (Nehmt die Hinweiskarten zu rate, falls ihr nicht weiterkommt)!

Experiment zur Überprüfung der Hypothese

Beobachtungen zum Experiment Viskosität:

Verwendete Chemikalien	Durchflossene Menge in mL	Zeit 1 in sec	Zeit 2 in sec
Alkohol 1:			
Alkohol 2:			
Alkohol 3:			

Auswertung:

Lässt sich nun die von euch ausgewählte Hypothese bestätigen oder widerlegen? Begründet eure Aussage!

Welche Erkenntnis lässt sich daraus gewinnen?

Formuliert einen Erklärungsansatz für den beobachteten Trend (Nehmt die Hinweiskarten zu rate, falls ihr nicht weiterkommt)!

Name: | Klasse: | Datum:

Hypothesenblatt

F *Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Kettenlänge von Alkoholen und ihren physikalischen Eigenschaften (z.B. Viskosität oder Löslichkeit)?*

☐ Je länger ☐ Je höher	☐ die Kette ☐ die Anzahl der Hydroxygruppen ☐ der Verzweigungsgrad	☐ desto geringer ist ☐ desto höher ist	☐ die Viskosität. ☐ die Löslichkeit in polaren Lösungsmitteln. ☐ die Löslichkeit in unpolaren Lösungsmitteln.
H 1			
H 2			
H 3			

Struktur-Eigenschafts-Beziehungen der Alkanole
Hilfestellungen – Untersuchung der Löslichkeit

Erklärt euch gegenseitig eure **Hypothese** noch einmal in eigenen Worten oder verwendet eine **Skizze**, um euch diese klarer zu machen.

Was müsst ihr konstant halten bzw. verändern, um die Hypothese untersuchen zu können?

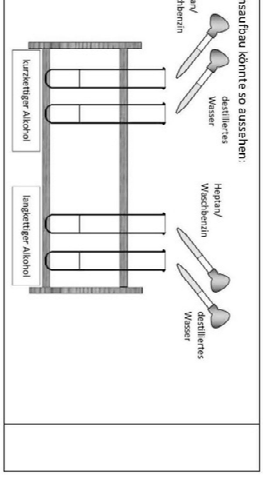
Achtet darauf, dass sich die Chemikalien nur in der Anzahl der **C-Atome** (Kettenlänge) unterscheiden. Achtet auch auf das verwendete Lösungsmittel (**polar/unpolar**).

Bei Wasser handelt es sich um ein **polares Lösungsmittel**, bei **Heptan** und **Waschbenzin** um **unpolare Lösungsmittel**.

Füllt je gleiche Mengen eines **kurzkettigen Alkohols** in zwei **Reagenzgläser** und je gleiche Mengen eines langkettigen Alkohols in zwei weitere Reagenzgläser. In welches der Reagenzgläser sollte nun welches Lösungsmittel gegeben werden, um die Hypothese untersuchen zu können?

Gebt zu beiden Alkoholen in ein Reagenzglas Heptan oder Waschbenzin und in das andere Reagenzglas **destilliertes Wasser**.

Der Versuchsaufbau könnte so aussehen:



Struktur-Eigenschafts-Beziehungen der Alkanole

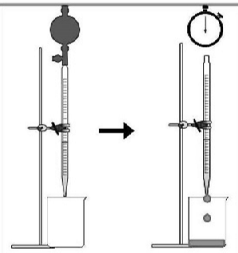
Hilfestellungen – Untersuchung der Viskosität

1	Erklärt euch gegenseitig eure Hypothese noch einmal in eigenen Worten oder verwendet eine Skizze, um euch diese klarer zu machen.	
2 a	Was müsst ihr konstant halten bzw. verändern, um die Hypothese untersuchen zu können?	
2b	Achtet darauf, dass sich die Chemikalien nur in der Anzahl der C-Atome (Kettenlänge) unterscheiden.	
3 a	Worin unterscheiden sich zähflüssige (viskose) von dünnflüssigen Stoffen?	
3 b	Wie es der Name schon sagt, sind zähflüssige Stoffe zähfließender als dünnflüssige Stoffe. Das wirkt sich beispielsweise auf die Fließgeschwindigkeit aus.	
4 a	Wie könnte man die Fließgeschwindigkeit messen?	
4 b	Die Fließgeschwindigkeit kann durch $\frac{Volumen}{Zeit}$ ausgedrückt werden.	
5	Verwendet man eine Messpipette und hält das Volumen gleich, so kann man messen welcher Stoff „schneller" aus der Pipette fließt.	

D.1 – Arbeitsmaterialien

Struktur-Eigenschafts-Beziehungen der Alkanole

Hilfestellungen – Untersuchung der Viskosität

	Zieht mit Hilfe der Messpipette den zu untersuchenden Alkohol auf. Überlegt euch selbst wie viele Milliliter ihr für sinnvoll haltet.	
	a) Befestigt die Messpipette an einem Stativ und stellt ein Becherglas unter die Pipette. b) Entfernt den Peleus-Ball und beginnt gleichzeitig die Zeit zu stoppen. c) Sobald die komplette Flüssigkeit aus der Messpipette geflossen ist, haltet ihr eure Stoppuhr an.	

D.1 – Arbeitsmaterialien

Struktur-Eigenschafts-Beziehungen der Alkanole

Hilfestellungen – Auswertung

1	Schaut auf die Teilchenebene, um eure Beobachtungen auf Stoffebene zu erklären.	
2a	Welche Wechselwirkungen könnten zwischen den Alkoholmolekülen stattfinden?	
2b	Mögliche Wechselwirkungen sind London-Dispersions-Kräfte (Van-der-Waals-Kräfte) oder Wasserstoffbrückenbindungen.	
3a	Worin sind sich die Alkanole und die Alkane ähnlich? Worin unterscheiden sie sich?	
3b	Die homologe Reihe der Alkanole basiert auf der homologen Reihe der Alkane. Die Stoffklasse der Alkohole (dazu gehören die Alkanole) weisen zusätzlich eine für die Stoffklasse typische Hydroxygruppe (OH-Gruppe auf).	
4a	Erinnere dich an die physikalischen Eigenschaften der homologen Reihe der Alkane. Versucht die vorherrschenden Trends auf die Alkanole zu übertragen.	
4b	Bei den Alkanen steigt die Siedetemperatur mit der Kettenlänge aufgrund der Van-der-Waals-Kräfte zwischen den Molekülen.	

D2 – Gefährdungsbeurteilung

Versuchsbeschreibung & Gefährdungsbeurteilung

Versuchs-Nr.: **27**

Struktur-Eigenschafts-Beziehungen der Alkanole

Versuchs-Kategorie: **Alkohole-Carbonylverb.-Carbonsäuren**

Schülerversuch ab Jahrgangsstufe 5

Geräte

- Reagenzglasständer (1 x pro Gruppe)
- Reagenzgläser (pro Gruppe 2 x pro verwendeten Alkohol)
- Gummistopfen (entsprechend der Anzahl der Reagenzgläser)
- Pasteur-Pipetten (pro Alkohol)
- Messpipette mit Peleusball (pro verwendeten Alkohol)
- Stoppuhr (Handy)
- Bechergläser (pro verwendeten Alkohol)
- Stativ mit Muffe und Klemme

ⓘ Ggf. unten stehende Erläuterungen zu den Piktogrammen beachten.

Versuchsdurchführung

Löslichkeit:

In je zwei Reagenzgläser werden vergleichbare Mengen der zu untersuchenden Alkohole gegeben. Die Alkohole dürfen sich nur in ihrer Kettenlänge unterscheiden. Anschließend wird zu jedem Alkohol in je ein Reagenzglas gleiche Mengen Waschbenzin bzw. dest. Wasser gegeben. Anschließend wird jeweils gut geschüttelt (Gummistopfen!) und die Reagenzgläser „zur Beruhigung" in den Reagenzglasständer gestellt.

Viskosität:

Die entsprechenden Alkohole werden mit Hilfe des Peleus-Balls bis zur 10 mL-Markierung (auch andere denkbar) der Messpipette aufgezogen. Anschließend wird gleichzeitig der Peleus-Ball entfernt und die Stoppuhr aktiviert. Beim Durchschreiten einer zuvor festgelegten Marke wird gestoppt. Um abgesicherte Werte zu bekommen, sollte jeder Versuch zweimal durchgeführt werden.

Gefährdungen durch:

Stoffliche Eigenschaften	vorhanden
KMR-Stoff 1A/1B	☐
durch Einatmen	☑
durch Hautkontakt	☑
durch Augenkontakt	☑
Brandgefahr	☑
Explosionsgefahr	☐
weitere Gefahren	☐

weitere Gefährdungen

☐ **weitere Gefahren und Hinweise**

Schutzmaßnahmen

Bau-, Ausrüstung, Einrichtung und organisatorische Maßnahme vgl. RSU III – 2.4.4 und III – 2.4.5	Schutzbrille	Schutzhand-schuhe	Abzug	Lüftungs-maßnahmen	geschlos-senes System	Brandschutz-maßnahmen
☑	☑	☑	☑	☐	☐	☑

Weitere Schutzmaßnahmen

Seite 1/3

D2 – Gefährdungsbeurteilung

Chemikalien

Stoffbezeichnung	Anmerkung	Signalwort	Piktogramm	H-Satz	P-Satz	Tätigkeit	Typ
Ethanol - 10420		GEFAHR		H225 H319	P210 P240 P403+P233 P305+P351+P338	S4K	Edukt
Glycerin - 11980		-				+	Edukt
Heptan - 13820		GEFAHR		H225 H304 H315 H336 H410	P210 P240 P273 P302+P352 P403+P233 P301+P330+P331	S4K	Edukt
1-Hexanol - 22240		ACHTUNG		H226 H319 H302+H312		S4K	Edukt
1-Octanol - 37840		ACHTUNG		H319 H412	P273 P305+P351+P338	S4K	Edukt
1-Propanol - 13580		GEFAHR		H225 H318 H336	P210 P240 P280 P233 P403+P233 P305+P351+P338	S4K	Edukt
Wasser - 122		-				+	Edukt
1,2-Hexandiol -		ACHTUNG		H319	P264 P280 P332+P313 P305+P351+P338	S4K	Edukt

Sicherheitshinweise

Persönliche Schutzausrüstung

Eine **Gestellschutzbrille** ist zu tragen, dazu ein langer, geschlossener **Labormantel** (Schutzkittel). Als Spritzschutz dienen **Nitril-Einmalhandschuhe**.

Verhalten im Gefahrenfall

Keine besonderen über die allgemeinen Maßnahmen zur Gefahrenabwehr hinausgehenden Maßnahmen nötig.

Entsorgung

Alle Gemische in B2 entsorgen

Substitution

Substitution von Gefahrstoffen, Verwendungsformen und -verfahren wurde geprüft. Der Versuch ist zur Vermittlung wesentlicher Lerninhalte nicht verzichtbar und kann unter Einhaltung der in der Versuchsvorschrift genannten Einschränkungen und mit den dort genannten Schutzmaßnahmen durchgeführt werden. Gefährliche Stoffeigenschaften oder andere Gefährdungen, die eine Durchführung durch Schüler/innen oder Lehrkräfte grundsätzlich ausschließen würden, sind nicht bekannt. Die Stoffliste DGUV Information 213-098 in degintu.dguv.de wurde berücksichtigt.

Literatur

Blume, R. *Zur Löslichkeit von Alkoholen*. Zugriff am 26.03.2019. Verfügbar unter http://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/08_11.htm

Gold, J. (2013 a). Löslichkeit von Alkoholen. In Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung Dillingen (Hrsg.), *Chemie? - Aber sicher! Experimente kennen und können!*. Akademiebericht 475. Dillingen: Akademie für Lehrerbildung und Personalbildung.

Gold, J. (2013 b). Viskosität von Alkoholen. In Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung Dillingen (Hrsg.), *Chemie? - Aber sicher! Experimente kennen und können!*. Akademiebericht 475. Dillingen: Akademie für Lehrerbildung und Personalbildung.

Versuch wird im folgendem Raum durchgeführt:

CH 13.4.22 - Lehr-Lern-Labor

D2 – Gefährdungsbeurteilung

Weitere Anmerkungen zum Versuch

keine Angaben

Datum: _____ Unterschrift: _____

Erstellt am 26.03.2019 11:21, für Universität Regensburg, Didaktik der Chemie, Regensburg

D.3 - Quellenangaben

Blume, R. *Zur Löslichkeit von Alkoholen*. Zugriff am 26.03.2019. Verfügbar unter http://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/08_11.htm

Breitmaier, E. & Jung, G. (2012). *Organische Chemie. Grundlagen, Verbindungsklassen, Reaktionen, Konzepte, Molekülstruktur, Naturstoffe, Synthesepianung, Nachhaltigkeit ; 145 Tabellen* (7., voll st. überarb. und erw. Aufl.). Stuttgart: Thieme.

Gold, J. (2013 a). Löslichkeit von Alkoholen. In Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung Dillingen (Hrsg.), *Chemie? - Aber sicher! Experimente kennen und können!*. Akademiebericht 475. Dillingen: Akademie für Lehrerbildung und Personalbildung.

Gold, J. (2013 b). Viskosität von Alkoholen. In Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung Dillingen (Hrsg.), *Chemie? - Aber sicher! Experimente kennen und können!*. Akademiebericht 475. Dillingen: Akademie für Lehrerbildung und Personalbildung.

Latscha, H. P., Kazmaier, U. & Klein, H. A. (2016). *Organische Chemie. Chemie-Basiswissen II* (Springer-Lehrbuch, 7. Auflage). Berlin: Springer Spektrum.

Schirmeister, T., Schmuck, C., Wich, P. R. & Bamberger, D. (2016). *Beyer/Walter Organische Chemie. Mit 2309 Abbildungen und 28 Tabellen und Poster "Taschenfalter"* (25., völlig neu bearbeitete Auflage). Stuttgart: Hirzel Verlag.

Abbildung 1 + 2: selbst erstellt

10.5 Feedbackbogen

Universität Regensburg
Didaktik der Chemie

CSV WiSe 2019/20

Kürzel Experiment: ☐☐☐☐☐☐ Nr. ☐

Code des durchführenden Teilnehmers: ☐☐☐☐☐☐

Der vorliegende Feedbackbogen dient der Evaluation der konzipierten Schülerexperimente. Mit Hilfe dieser Informationen sollen Ihre Kommilitonen Rückmeldung bekommen, für wie geeignet Sie deren Entwurf halten, welche Aspekte noch verbessert werden können und ob ihre intendierten Ziele und Überlegungen in der konkreten Umsetzung von Ihnen wahrgenommen werden. **Bitte äußern Sie positive und negative Aspekte zu dem Entwurf, geben Sie allerdings bitte KEINE Handlungsalternativen an.**

Bitte füllen Sie den Bogen vollständig und ehrlich aus!

Kompetenzbereiche	trifft voll zu	trifft eher zu	mittel	trifft eher nicht zu	trifft gar nicht zu
1. Durch Bearbeitung der Experimentieraufgabe kann vorrangig der Kompetenzbereich Fachwissen gefördert werden.	☐	☐	☐	☐	☐
2. Durch Bearbeitung der Experimentieraufgabe kann vorrangig der Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung gefördert werden.	☐	☐	☐	☐	☐
3. Durch Bearbeitung der Experimentieraufgabe kann vorrangig der Kompetenzbereich Kommunikation gefördert werden.	☐	☐	☐	☐	☐
4. Durch Bearbeitung der Experimentieraufgabe kann vorrangig der Kompetenzbereich Bewertung gefördert werden.	☐	☐	☐	☐	☐

5. Formulieren Sie bitte das Ihrer Wahrnehmung nach intendierte Hauptlernziel der Experimentieraufgabe.

Universität Regensburg
Didaktik der Chemie

CSV WiSe 2019/20

Kürzel Experiment: ☐☐☐☐☐☐ Nr. ☐

Code des durchführenden Teilnehmers: ☐☐☐☐☐☐

Offenheit des Experimentierprozesses	offen	vorstrukturiert	vorgegeben	Keine Aussage möglich
6. zu untersuchende Aspekte	☐	☐	☐	☐
7. Frage-/Problemstellung	☐	☐	☐	☐
8. Hypothesenbildung	☐	☐	☐	☐
9. Planung (theoretisch)	☐	☐	☐	☐
10. Versuchsaufbau (praktisch)	☐	☐	☐	☐
11. Durchführung (praktisch)	☐	☐	☐	☐
12. Aufnahme der beobachteten/gemessenen Daten	☐	☐	☐	☐
13. Datenaufbereitung	☐	☐	☐	☐
14. Auswertung	☐	☐	☐	☐
15. Schlussfolgerung	☐	☐	☐	☐
16. zu durchlaufende Phasen (vorgegeben: z.B. Lehrkraft gibt Art und Reihenfolge der Phasen vor)	☐	☐	☐	☐
17. notwendige Experimentierschritte	☐	☐	☐	☐
18. Aspekt der Variablenkontrolle	☐	☐	☐	☐
19. qualitative oder quantitative Vorgehensweise	☐	☐	☐	☐
20. Anzahl aufzunehmender Messwerte	☐	☐	☐	☐
21. Verfahren der Datenaufnahme (z.B. durch Messen oder Beobachten)	☐	☐	☐	☐
22. Prinzip des Auswertungsverfahrens (z.B. mathematisch, tabellarisch, grafisch, textbasiert)	☐	☐	☐	☐
23. Auswahl der Materialien	☐	☐	☐	☐
24. Auswahl der Chemikalien	☐	☐	☐	☐
25. Verwendung qualitativer Nachweise (vorgegeben: z.B. Lehrkraft gibt alle durchzuführenden Nachweise vor)	☐	☐	☐	☐

Weitere Anmerkungen:

Universität Regensburg
Didaktik der Chemie

Kürzel Experiment: ☐☐☐☐☐☐ Nr. ☐

Code des durchführenden Teilnehmers: ☐☐☐☐☐☐

26.	Welche Phasen des Experiments werden in der Experimentieraufgabe betont?

Anzahl der Lösungen und Lösungswege:		eine	mehrere
27.	Lösungen	☐	☐
28.	Lösungswege	☐	☐

Optionale Unterstützungsmaßnahmen		ja	nein
29.	Es werden Strukturierungshilfen angeboten.	☐	☐
30.	Es werden Hilfekarten geboten.	☐	☐
31.	Falls zutreffend, welche Art der Hilfe wird geboten? (Es sind mehrere Kreuze möglich.) ☐ Aktivieren von Vorwissen ☐ Informationsinput ☐ Elaboration ☐ Paraphrasierung ☐ Visualisierung ☐ Verifizierung ☐ Fokussierung auf den Ausgangszustand ☐ methodische Hilfen		
32.	Falls zutreffend, sind die Hilfekarten gestuft aufgebaut?	☐	☐
33.	Die Experimentieraufgabe enthält weitere Möglichkeiten zur Binnendifferenzierung.	☐	☐

Weitere Anmerkungen:

Universität Regensburg
Didaktik der Chemie

Kürzel Experiment: ☐☐☐☐☐☐ Nr. ☐

Code des durchführenden Teilnehmers: ☐☐☐☐☐☐

Mediale Gestaltung		trifft voll zu	trifft eher zu	mittel	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
34.	Das Arbeitsblatt ist schülergemäß gestaltet (nicht zu voll, sprachlich nicht zu schwierig).	☐	☐	☐	☐	☐
Begründung (stichwortartig):						
35.	Das Arbeitsblatt enthält Bilder oder Grafiken.	☐	☐	☐	☐	☐
Begründung (stichwortartig):						
36.	Auf dem Arbeitsblatt ist genügend Platz zur Bearbeitung der Aufgaben vorhanden.	☐	☐	☐	☐	☐
Begründung (stichwortartig):						
37.	Die Aufgabenschwierigkeit ist für die angegebene Jahrgangsstufe angemessen.	☐	☐	☐	☐	☐
Begründung (stichwortartig):						
38.	Das Arbeitsblatt ist geeignet, um die Experimentieraufgabe zu bearbeiten.	☐	☐	☐	☐	☐
Begründung (stichwortartig):						
39.	Die SuS wurden zur Einhaltung von Sicherheitsaspekten aufgefordert (Schutzausrüstung, Gefahrstoffsymbole, Entsorgung).	☐	☐	☐	☐	☐
Begründung (stichwortartig):						
40.	Die Experimentieraufgabe ist in einen angemessenen lebensweltlichen Kontext eingebettet.	☐	☐	☐	☐	☐
Begründung (stichwortartig):						
41.	Die Experimentieraufgabe ist in einen angemessenen fachlichen Kontext eingebettet.	☐	☐	☐	☐	☐
Begründung (stichwortartig):						

Weitere Anmerkungen:

Universität Regensburg
Didaktik der Chemie

CSV WiSe 2019/20

Kürzel Experiment: ☐☐☐☐☐☐ Nr. ☐

Code des durchführenden Teilnehmers: ☐☐☐☐☐☐

Weitere Aspekte:	trifft voll zu	trifft eher zu	mittel	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
42. Mir war klar, was zu tun ist.	☐	☐	☐	☐	☐
Begründung (stichwortartig):					
43. Die zeitlichen Angaben zum Experiment können eingehalten werden.	☐	☐	☐	☐	☐
Begründung (stichwortartig):					
44. Insgesamt ist die Experimentieraufgabe lernförderlich.	☐	☐	☐	☐	☐
Begründung (stichwortartig):					
45. Die Experimentieraufgabe ist für die angegebene Jahrgangsstufe geeignet.	☐	☐	☐	☐	☐
Begründung (stichwortartig):					
46. Der Grad an Offenheit und Unterstützung ist angemessen.	☐	☐	☐	☐	☐
Begründung (stichwortartig):					
47. Die Hilfen sind geeignet, um die SuS beim Experimentieren zu unterstützen.	☐	☐	☐	☐	☐
Begründung (stichwortartig):					

Weitere Anmerkungen:

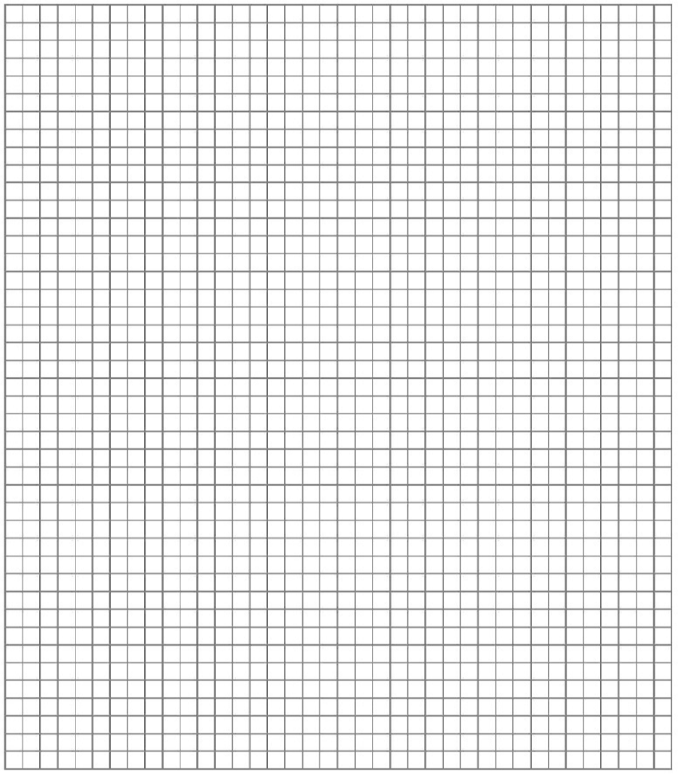
Universität Regensburg
Didaktik der Chemie

CSV WiSe 2019/20

Kürzel Experiment: ☐☐☐☐☐☐ Nr. ☐

Code des durchführenden Teilnehmers: ☐☐☐☐☐☐

Weitere Anmerkungen:



10.6 Kodiermanual

KODIERMANUAL

zur Analyse schriftlicher Planungen bezüglich selbstgesteuerter Experimentierprozesse

Florian Seiler
UNIVERSITÄT REGENSBURG

Ziel des Kodiermanuals

Mit dem vorliegenden Kodiermanual soll die Qualität schriftlicher Planungen bezüglich selbstgesteuerter Experimentierprozesse im Fach Chemie untersucht werden. Die Codes aller Kategorien werden am Ende addiert und damit ein Score-Wert errechnet. Je höher dieser Score-Wert ist, desto hochwertiger ist die schriftliche Planung.

Analyse- und Kodiereinheit

Bei der Analyseeinheit der vorliegenden Studie handelt es sich einerseits um die Protokolle, die im Rahmen des Seminars „Chemische Schulversuche" durch die teilnehmenden Studierenden erstellt wurden. Darin sind Arbeitsmaterialien für selbstgesteuerte Experimentierprozesse (Arbeitsblätter, ggf. Unterstützungsmaßnahmen) sowie didaktisch-methodische Beschreibungen und Begründungen enthalten. Als weitere Analyseeinheit soll der zur Evaluation des Seminarkonzepts entwickelte Planungskompetenztest bezüglich selbstgesteuerter Experimentierprozesse herangezogen und mit Hilfe des vorliegenden Kodiermanuals ausgewertet werden. In diesem Test skizzieren die Studierenden Arbeitsmaterialien für selbstgesteuerte Experimentierprozesse und beschreiben und begründen diese hinsichtlich festgelegter Aspekte. Damit beinhalten beide Analyseeinheiten grundsätzlich vergleichbare Informationen, deren Qualität mit dem vorliegenden Kodiermanual untersucht werden soll. Die Kodiereinheit ist in den meisten Fällen mit der Analyseeinheit identisch. Das bedeutet, dass das gesamte Dokument für die Kodierung der entsprechenden Kategorie herangezogen werden kann. Einige Kategorien beziehen sich dagegen aber nur auf bestimmte Teile der schriftlichen Dokumente. In diesen Fällen finden sich Aussagen über die Kodiereinheit bei den Hinweisen der jeweiligen Kategorie.

Allgemeine Herangehensweise beim Kodieren:

(1) Machen Sie sich, bevor Sie mit dem Kodieren beginnen, mit dem Manual vertraut, indem Sie sich alle Kategorien aufmerksam durchlesen.
(2) Verschaffen Sie sich einen Überblick über den Planungskompetenztest bzw. das Protokoll, in dem Sie es vor dem Kodieren einmal vollständig lesen.
(3) Kodieren Sie Kategorie für Kategorie und ordnen Sie jeder Kategorie einen eindeutigen Wert zu. Halten Sie sich dabei bitte immer exakt an die Kodierregeln und Hinweise. Ziehen Sie für Ihre Entscheidungen stets die in den Ausprägungen formulierten Operationalisierungen, Kriterien und Beispiele heran. Vermeiden Sie in jedem Fall rein instinktive Entscheidungen.
(4) Jede Kategorie muss kodiert werden. Das heißt in der Datentabelle dürfen keine leeren Felder zu finden sein. Bei fehlenden Einträgen muss die entsprechende Kodierung nachgetragen werden.

Oberkategorien	Kategorien/Variablen
1. Fachliche Aspekte	1.1. Fachliche Korrektheit
2. Lerngruppe	2.1. Fachliche Voraussetzungen 2.2. Methodische Voraussetzungen 2.3. Aktivierung von Vorwissen
3. Offenheit des Experimentierprozesses	3.1. Detailliertheit der Beschreibung 3.2. Passung der Beschreibung mit der Planung 3.3. Öffnungsgrad 3.4. Zusätzliche Differenzierung 3.5. Begründung des Öffnungsgrades
4. Unterstützungsmaßnahmen	4.1. Detailliertheit der Beschreibung 4.2. Ausarbeitung optionaler Unterstützungsmaßnahmen 4.3. Differenzierungsgrad 4.4. Unterstützungsebenen 4.5. Begründung der Unterstützungsmaßnahmen
5. Einbettung	5.1. Fachimmanente Einbettung 5.2. Lebensweltliche Einbettung 5.3. Zielklarheit 5.4. Generalisierung und Verallgemeinerung
6. Passung	6.1. Passung der Lerngruppe auf Experimentierprozess 6.2. Passung zwischen Lernziel und Experimentierprozess 6.3. Anzahl der Lernziele 6.4. Passung zwischen Unterstützungsmaßnahmen und Offenheit
7. Experimentierprozess	7.1. Frage-/Problemstellung 7.2. Phasen des Experimentierprozesses 7.3. Prozessreflexion 7.4. Ergebnisreflexion 7.5. Kontrollstrategien

1. Fachliche Aspekte

1.1. Fachliche Korrektheit

Erkenntnisinteresse: Wie viele fachliche oder fachsprachliche Fehler befinden sich in der Ausarbeitung?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der vier Ausprägungen.

Beschreibung	
Der Lerngegenstand sollte in den Ausführungen fachlich korrekt beschrieben bzw. auch im Experimentierprozess (auch auf dem Arbeitsblatt) fachlich korrekt thematisiert werden. Bezogen auf den Planungskompetenztest kann es beispielsweise zu folgenden Fehlern kommen: • Reduktions- und Oxidationsmittel verwechselt • Fälschlicherweise Säure-Base-Reaktion statt Redoxreaktion als Hauptreaktion angegeben • Reaktivität von Zink und Magnesium (oder anderen zusätzlichen Metallen) falsch angegeben. • Fehler beim Aufstellen der Redoxreaktion • Die Metallatome reagieren mit Oxoniumionen und nicht mit Protonen (es liegen keine freien Protonen in Lösung vor) • Stärkeres Redoxpotential bedeutet nicht höheren, sondern niedrigeren Zahlenwert.	
Code	**Ausprägung**
0	Die schriftliche Arbeit enthält **mehr als zwei** fachliche oder fachsprachliche Fehler.
1	Die schriftliche Arbeit enthält **zwei** fachliche oder fachsprachliche Fehler.
2	Die schriftliche Arbeit enthält **einen** fachlichen oder fachsprachlichen Fehler.
3	Die schriftliche Arbeit enthält **keine** fachlichen oder fachsprachlichen Fehler.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: eigene Entwicklung* • *Operationalisierung: eigene Entwicklung*	
Hinweise: • Ein wiederholter fachlicher bzw. fachsprachlicher Fehler wird nur einmal gezählt, auch wenn er an unterschiedlichen Stellen der schriftlichen Arbeit zu finden ist. • Für diese Kategorie muss die schriftliche Arbeit sehr genau durchgelesen werden, da vor allem fachsprachliche Fehler manchmal erst nach genauerer Betrachtung deutlich werden.	

2. Lerngruppe

2.1. Fachliche Voraussetzungen

Erkenntnisinteresse: Wie detailliert werden fachliche Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler thematisiert?

Grundregel: Disjunkte Zuweisung in **eine** der drei Ausprägungen.

Beschreibung	
Aspekte der jeweiligen Lerngruppe bzw. deren Analyse stellt eine der drei Felder der didaktischen Rekonstruktion dar. Es gilt die didaktische Strukturierung in Bezug auf die jeweilige Lerngruppe durchzuführen und nicht losgelöst von dieser zu gestalten (Kattmann, 2007). Auch in anderen Modellen zur Planung sind die individuellen und gruppenspezifischen Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler verankert (Zierer, Werner & Wernke, 2015).	
Code	**Ausprägung**
0	Die schriftliche Arbeit beinhaltet keine Informationen zu den fachlichen Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler.
1	Die schriftliche Arbeit beinhaltet eine Information, dass fachliche Voraussetzungen der Lerngruppe (z.B. Vorwissen, Vorerfahrungen, Kenntnisse, Präkonzepte/Fehlvorstellungen) vorhanden sind, jedoch ohne diese explizit zu beschreiben, wie zum Beispiel • Nötige Theorie um Experiment erklären zu können, wird als bereits bekannt angenommen. • Bevor die SuS anfangen, wird die Thematik kurz von der Lehrkraft oder einem Infoblatt in den Kontext der SuS gerückt. • In der 8. Klasse sind grundliegende Konzepte gerade vorhanden, wohingegen in der 10. Klasse ein vertieftes Wissen vorherrscht.
2	Die schriftliche Arbeit beinhaltet Informationen zu den fachlichen Voraussetzungen der Lerngruppe (z.B. Vorwissen, Vorerfahrungen, Kenntnisse, Präkonzepte/Fehlvorstellungen). Diese werden explizit erläutert, wie zum Beispiel • SuS können den Begriff Redoxreaktion definieren. • SuS können Oxidationszahlen bestimmen. • SuS können Redoxgleichungen aufstellen. • In der 8. Klasse wird Färbung einer Kupferrinne nicht als Umwandlung des Kupfers, sondern als Erzeugung eines neuen Stoffes angesehen. • SuS-Vorstellungen zum Thema Säuren in der Umwelt sind bereits vorhanden.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: z.B. Kattmann (2007)* • *Operationalisierung: modifiziert nach Weingarten (2019)*	
Hinweise: • In dieser Kategorie geht es darum, ob fachliche Voraussetzungen der SuS Erwähnung finden. Aussagen zur Lerngruppe können im ganzen Text vorkommen, z. B. auch wenn die Lerngruppe zur Begründung herangezogen wird und dabei etwas genauer beschrieben wird. • Bei bloßem Nennen von Oberbegriffen wie „Redox-Reaktion" oder „Kohlenwasserstoffe", ohne detailliertere Voraussetzungen zu nennen, wird „1" kodiert.	

2.2. Methodische Voraussetzungen

Erkenntnisinteresse: Wie detailliert werden methodische Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler thematisiert?

Grundregel: Disjunkte Zuweisung in **eine** der drei Ausprägungen.

Beschreibung	
Dabei kann es sich um Voraussetzungen der Lerngruppe bezüglich bestimmter Sozialformen, Unterrichtsmethoden oder Arbeitstechniken handeln. Vor allem beim Experimentieren sind die spezifischen Vorkenntnisse/Vorerfahrungen der SuS besonders wichtig, da nur so ein sicherer Umgang beim Experimentieren und ein erfolgreiches Durchlaufen des Experimentierprozesses garantiert werden kann. Dabei ist zum einen der Umgang mit Geräten und Chemikalien bedeutsam, das Beherrschen spezieller Arbeitsweisen sowie strategische Voraussetzungen, die mit der Methode des Experimentierens einhergehen (z. B. Kontrollstrategien beim Experimentieren). Dabei nimmt das Vorwissen eine moderierende Funktion zwischen Strategieeinsatz und Lernerfolg ein (Künsting, Thillmann, Wirth, Fischer & Leutner, 2008).	
Code	**Ausprägung**
0	Die schriftliche Arbeit beinhaltet keine Informationen zu den methodischen Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler.
1	Die schriftliche Arbeit beinhaltet eine Information, dass methodische Voraussetzungen der Lerngruppe (z. B. Sozialform, Unterrichtsmethoden, Arbeitstechniken, chemische Denk- und oder Arbeitsweisen) vorhanden sind, jedoch ohne diese konkret zu beschreiben, wie zum Beispiel: • SuS können nach dem naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg experimentieren. • SuS haben bereits Vorerfahrung im selbstständigen Experimentieren. • SuS kennen die Abfallbehälter und wissen über die Entsorgung benutzter Chemikalien Bescheid. • SuS können Experimente selbstständig dokumentieren und analysieren. • SuS haben bereits Übung im selbstständigen Planen von Experimenten.
2	Die schriftliche Arbeit beinhaltet Informationen zu den methodischen Voraussetzungen der Lerngruppe (z. B. Sozialform, Unterrichtsmethoden, Arbeitstechniken, chemische Denk- und oder Arbeitsweisen). Diese werden auf die vorliegende Experimentieraufgabe bezogen, z. B. • SuS wissen über potentielle Gefahren im Umgang mit Säuren Bescheid und tragen daher stets Schutzmantel und -brille. Oder anhand konkreter Inhalte konkretisiert, z. B. • SuS müssen darüber Bescheid wissen, was ein Parameter ist bzw. was abhängige Variable bedeutet Oder es werden Konsequenzen aus den methodischen Voraussetzungen gezogen, z. B. • Die experimentellen Fähigkeiten der SuS befinden sich noch im Anfangsstadium und sind noch nicht sehr ausgeprägt. Der Umgang mit Geräten wurde in den vorhergehenden Versuchen etwas eingeübt, dennoch sollte darauf geachtet werden, dass sich der Versuchsaufbau nicht als allzu komplex erweist.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: Kattmann (2007)* • *Operationalisierung: modifiziert nach Weingarten (2019)*	
Hinweis: In dieser Kategorie geht es darum, ob methodische Voraussetzungen der SuS Erwähnung finden. Aussagen zur Lerngruppe können im ganzen Text vorkommen, z. B. auch wenn die Lerngruppe zur Begründung herangezogen wird und dazu noch einmal etwas genauer beschrieben wird.	

2.3. Aktivierung von Vorwissen

Erkenntnisinteresse: Inwiefern werden Maßnahmen eingeplant, um das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler zu aktivieren?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der vier Ausprägungen.

Beschreibung	
„[A]us konstruktivistischer Perspektive wird neues Wissen immer auf der Grundlage von Vorerfahrungen und Vorwissen aufgebaut" (Weingarten, 2019, S. 221). Dabei stellt die Aktivierung bereits vorhandener Wissensstrukturen einen wichtigen Faktor für das Lernen und Behalten dar (Krause & Stark, 2006). „Der Zugriff auf das Vorwissen findet in weiten Teilen automatisch statt; Lernende und Lehrende können ihr Vorwissen bzw. das ihrer Schüler jedoch auch bewusst aktivieren und damit Lernprozesse gezielt unterstützen" (Krause & Stark, 2006, S. 43). Das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler ist auch beim Durchlaufen eines Experimentierprozesses sehr bedeutsam, z. B. beim Aufstellen von Hypothesen (Klahr & Dunbar, 1988). Das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler kann durch entsprechende Aufgabenstellungen (z. B. einführende Aufgabe zur Wiederholung bestimmter fachlicher Inhalte) oder beim selbstständigen Bilden von Hypothesen aktiviert werden. Die Aktivierung des Vorwissens der Schülerinnen und Schüler kann durch folgende **Maßnahmen** realisiert werden: • eine entsprechende Aufgabe zur Aktivierung des Vorwissens (z. B. Aufgabenstellung zur **Wiederholung** vorher gelernter und bedeutsamer Inhalte) • eine **selbstständige** Hypothesenbildung • mündliche Maßnahmen zur Aktivierung des Vorwissens	
Code	**Ausprägung**
0	Die schriftliche Arbeit enthält **keine** entsprechenden Maßnahmen zur Vorwissensaktivierung.
1	Die schriftliche Arbeit enthält **eine** Maßnahme zur Aktivierung von Vorwissen.
2	Die schriftliche Arbeit enthält **zwei** Maßnahmen zur Aktivierung von Vorwissen.
3	Die schriftliche Arbeit enthält **mindestens drei** Maßnahmen zur Aktivierung von Vorwissen. Beispiel: Es werden eine selbstständige Formulierung einer oder mehrerer Hypothesen und zwei verschiedene Aufgaben zur Aktivierung des Vorwissens eingeplant.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: Weingarten (2019); Krause und Stark (2006); Klahr und Dunbar (1988)* • *Operationalisierung: modifiziert nach Weingarten (2019)*	

Hinweise:
• Die Maßnahmen müssen entweder in den Ausführungen oder in den Arbeitsmaterialien erkennbar sein.
• Hier werden die optionalen Unterstützungsmaßnahmen nicht beachtet.
• Um entscheiden zu können, ob es sich bei den Aufgaben zur Aktivierung des Vorwissens tatsächlich um solche handelt, muss eines der folgenden Kriterien erfüllt sein:
  • Abgefragtes Wissen wird als Vorwissen der Schülerinnen und Schüler deklariert.
  • Die Aufgabenformulierung legt nahe, dass Vorwissen abgefragt werden soll (z. B. Verwendung des Wortes „Wiederholung" oder einer Phrase wie „du kennst bereits").	

3. Offenheit

3.1. Detailliertheit der Beschreibung

Erkenntnisinteresse: Wie konkret wird die Offenheit im Sinne der im Seminar behandelten Systematik beschrieben?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der vier Ausprägungen.

Beschreibung	

Priemer (2011) kategorisiert die Offenheit von Experimentierprozessen in sechs Facetten: Fachinhalt, Phasen, Strategie, Methode, Anzahl der Lösungen und Anzahl der Lösungswege. Je mehr Kategorien bei der Beschreibung verwendet werden, desto konkreter und nachvollziehbarer ist diese. Die Anzahl der Lösungen und Lösungswege stellt laut Priemer (2011) zwar auch ein Prüfkriterium dar, wie ches aber nur wenig konkret formuliert werden kann. Deshalb wird diese Facette nicht in diese Kategorie miteinbezogen. Somit sollen hier folgende vier Oberkategorien und Unterkategorien (eingerückt) berücksichtigt werden:
• Fachinhaltliche Offenheit lässt die Untersuchung unterschiedlicher Teilaspekte oder das Lösen von Problemen über verschiedene Themenkomplexe zu.
• Offenheit hinsichtlich der Phasen bezieht sich auf die einzelnen Experimentierphasen, die durchlaufen werden können (zur Operationalisierung der einzelnen Phasen vgl. Kategorie 3.3.). Bei der Beschreibung werden Aussagen über einzelne oder mehrere der folgenden Phasen getroffen, ohne dabei näher auf strategische oder methodische Aspekte einzugehen (Maiseyenka, 2014):
  ○ Entwicklung von Fragestellungen
  ○ Bilden von Vermutungen/Hypothesen
  ○ Planung des Experiments
  ○ Aufbau eines funktionsfähigen Versuchs
  ○ Beobachten/Messen/Dokumentieren
  ○ Aufbereitung bzw. Auswertung der erhobenen Daten
  ○ Ziehen von Schlussfolgerungen
  ○ Ablauf/Vorgabe zur Bearbeitung der Phasen
• Strategische Offenheit thematisiert die Denkweisen, die die Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten betreffen. Hier müssen konkrete Aussagen getroffen werden über:
  ○ Notwendige Schritte beim Experimentieren (nicht Phasen)
  Bsp.: Aufreinigung von Steinsalz: Steinsalz lösen → Abfiltrieren → Filtrat eindampfen
  ○ Identifikation und Kontrolle von Variablen
  ○ Qualitative oder quantitative Herangehensweise
  ○ Erhebung, Umgang mit und Auswertung der Daten
• Methodische Offenheit bezieht sich auf Entscheidungen zur konkreten Umsetzung der Strategien und betrifft damit chemische Arbeitsweisen. Hier müssen konkrete Aussagen getroffen werden über:
  ○ Auswahl von Chemikalien sowie Labormaterialien
  ○ Auswahl bestimmter qualitativer Nachweise	

Code	**Ausprägung**
0	In den Beschreibungen zur Offenheit sind **keine** Informationen über die oben genannten Oberkategorien enthalten. Wird auch kodiert, wenn keine erkennbare Beschreibung der Offenheit zu finden ist. Beispiel: Es wird eine gewisse Vorauswahl der Chemikalien eingeplant, aber kein näherer Bezug zur Offenheit hergestellt.
1	Es findet eine Beschreibung der Offenheit des Experimentierprozesses statt.

	In den Beschreibungen zur Offenheit sind Informationen zu **einer** der oben genannten Oberkategorien enthalten.
2	Es findet eine Beschreibung der Offenheit des Experimentierprozesses statt. In den Beschreibungen zur Offenheit sind Informationen zu **zwei** der oben genannten Oberkategorien enthalten.
3	Es findet eine Beschreibung der Offenheit des Experimentierprozesses statt. In den Beschreibungen zur Offenheit sind Informationen zu **mindestens drei** der oben genannten Oberkategorien enthalten.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: Priemer (2011)* • *Operationalisierung: eigene Entwicklung*	
Hinweise: • Hier geht es nicht darum, wie offen der Experimentierprozess geplant wurde, sondern wie systematisch bzw. konkret bei der Beschreibung des Öffnungsgrades vorgegangen wurde. • Es muss feststellbar sein, dass es sich um die Beschreibung der Offenheit des Experimentierprozesses handelt, damit die Informationen für diese Kategorie verwendet werden dürfen. Ein reines Aufzählen der verwendeten Chemikalien ohne Bezug zur Öffnung des Experimentierprozesses wird zum Beispiel nicht gezählt. • Da die bloße Nennung der Oberkategorien keine ausreichende Konkretisierung darstellt, sollen für die **Kodierung** die oben aufgeführten **Unterkategorien** betrachtet werden. • Die **Zählweise** in den Ausprägungen bezieht sich dann aber auf die angesprochenen **Oberkategorien**.	

3.2. Passung der Ausführungen mit der Planung

Erkenntnisinteresse: Inwiefern stimmen die beschriebenen Kategorien zur Offenheit mit dem geplanten Experimentierprozess überein?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der vier Ausprägungen.

Beschreibung	
Annahme: Nur, wenn die Probanden den von ihnen geplanten Experimentierprozess hinsichtlich der Kategorien der Offenheit (s. o.) korrekt beschreiben, zeigen sie, dass sie die Thematik durchdrungen haben.	
Code	**Ausprägung**
0	**Entweder** wurde die Offenheit nicht (detailliert genug) beschrieben **oder** die Beschreibung der Offenheit stimmt in **keinen** Kategorien mit dem geplanten Experimentierprozess überein.
1	**Höchstens die Hälfte** der zur Beschreibung der Offenheit herangezogenen Kategorien stimmt mit dem geplanten Experimentierprozess überein. Wird nicht kodiert, wenn keine der Kategorien mit dem geplanten Experimentierprozess übereinstimmt.
2	**Mehr als die Hälfte** der zur Beschreibung der Offenheit herangezogenen Kategorien stimmt mit dem geplanten Experimentierprozess überein. Wird nicht kodiert wenn alle Kategorien mit dem geplanten Experimentierprozess übereinstimmen.
3	Die Beschreibung der Offenheit stimmt in **allen** Kategorien mit dem geplanten Experimentierprozess überein.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: Priemer (2011)* • *Operationalisierung: eigene Entwicklung*	
Hinweise: • Dazu ist es notwendig, dass der Kodierer selbst die Planung korrekt einordnen kann. • Hier geht es um einen Abgleich der Ausführungen zur Offenheit mit den übrigen Ausführungen bzw. dem geplanten Experimentierprozess (z. B. Arbeitsmaterialien). • Dabei können alle Informationen zur Offenheit mit dem Experimentierprozess abgeglichen werden, also sowohl die genannten Ober- als auch die Unterkategorien aus 3.1. • Einzelne Experimentierphasen werden separat gezählt. • Aspekte die in Kategorie 3.1 als nicht detailliert genug eingestuft wurden, werden nicht mitgezählt.	

3.3. Öffnungsgrad

Erkenntnisinteresse: Wie offen ist der Experimentierprozess gestaltet?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der vier Ausprägungen.

Beschreibung
Offenheit von Experimentierarrangements wird nicht einheitlich definiert. Meistens wird darunter aber „[...] die Möglichkeit der Schülerinnen und Schüler, eigene Entscheidungen während des Experimentierens zu treffen, verstanden" (Engeln, 2004, S. 40). Dabei stellt die Offenheit von Experimentierprozessen ein wesentliches Kriterium für die Gewährleistung von Selbststeuerung in solchen Lernsettings dar. Im Sinne der Bereitstellung von Lerngelegenheiten zur selbstständigen Bearbeitung und Interpretation (Stiller, 2015) kann die Offenheit von Experimentierprozessen in Zusammenhang mit Unterrichtsqualitätsmerkmalen gebracht werden. Vergleiche auch „kognitive Aktivierung" (Kleickmann, 2012). Um die Offenheit hinsichtlich der Phasen von Experimentierprozessen besser einschätzen zu können, sollen im Folgenden mögliche Phasen aufgelistet und operationalisiert werden (Maiseyenka, 2014, S. 22; Priemer, 2011): • Entwicklung von Fragestellungen ○ Eine Fragestellung muss zielgerichtet und konkret sein und muss sich auf theoretische Annahmen beziehen. ○ SuS können bspw. aufgefordert werden, selbstständig oder mit Hilfen eine überprüfbare Fragestellung zu formulieren. • Bilden von Vermutungen/Hypothesen ○ Vermutungen und Hypothesen basieren auf einer bestimmten Fragestellung und konkretisieren diese. Damit bilden Hypothesen den Rahmen für Messungen und/oder Beobachtungen. Vermutungen basieren auf Vorerfahrung, Hypothesen basieren dagegen theoretischen Vorwissen. ○ SuS können bspw. aufgefordert werden, selbstständig oder mit Hilfen eine überprüfbare Hypothese aufzustellen. • Planung des Experiments ○ Die Planung muss immer auf die Fragestellung oder Hypothese bezogen sein. Dabei gibt es viele einzelne Aspekte zu beachten. Beispielsweise müssen die Strategien und Methoden festgelegt werden, welche zur Beantwortung/Bearbeitung der Fragestellung/Hypothese notwendig sind (Festlegung der zu untersuchenden Größe, Wahl einer qualitativen oder einer quantitativen Vorgehensweise, Wahl geeigneter Geräte, Materialien und Chemikalien, Identifikation und Kontrolle von Variablen, Abfolge notwendiger Experimentierschritte, ○ SuS können hier vielfältige Möglichkeiten gegeben werden auch eigene Entscheidungen zu treffen. • Aufbauen eines funktionsfähigen Versuchs ○ Hierzu gehört das Zusammenstellen der Geräte sowie das Aufbauen und Überprüfen der Versuchsanordnung ○ SuS können bspw. den Versuchsaufbau selbstständig übernehmen, mit Hilfe einer Abbildung nachbauen oder an einer bereits fertig aufgebauten Versuchsanordnung experimentieren. • Beobachten/Messen/Dokumentieren ○ Beobachtungen müssen kriteriengeleitet vorgenommen werden. Messungen müssen sorgfältig, genau sein und ggf. mehrfach durchgeführt werden. Die Dokumentation muss vollständig, sorgfältig und genau geschehen. ○ SuS können bspw. entscheiden, was sie beobachten/messen. Darüber hinaus können sie ggf. die Art der Dokumentation selbst festlegen.

• Aufbereitung der erhobenen Daten ○ Die Aufbereitung der Daten kann tabelarisch, grafisch oder textlich geschehen. Ggf. müssen Formeln angewendet werden. Häufig wird in dieser Phase nach Zusammenhängen gesucht und die Daten vergleichend analysiert. ○ SuS können bsow. selbstständig Entscheidungen zum Auswertungsprinzip treffen. Sie können selbstständig über die Notwendigkeit der Datenaufbereitung nachdenken. Hier können sich die SuS auch mehr oder weniger angeleitet inhaltlich mit den erhobenen Daten beschäftigen. • Ziehen von Schlussfolgerungen ○ In dieser Phase werden die gefundenen Ergebnisse interpretiert, ein Rückbezug auf Frage / Hypothese / Vermutung hergestellt, die Hypothese / Vermutung kritisch reflektiert und ggf. überarbeitet, Fehler analysiert und ggf. die eigene Position in einer Diskussion vertreten. ○ SuS können ospw. die Schlussfolgerung selbstständig durchlaufen. Das kann bedeuten, dass sie die inhaltliche Beschäftigung mit den oben genannten Punkten ohne konkrete Vorgaben selbst übernehmen. Ggf. können die SuS bspw. zum Rückbezug auf die Fragestellung/Hypothese angeleitet werden.

Code	Ausprägung
0	Den Lernenden werden beim Durchlaufen des Experimentierprozesses **keine** Spielräume für individuelle Entscheidungen eingeräumt.
1	Den Lernenden werden innerhalb des Lernangebots Spielräume für eigene Entscheidungen (offen oder vorskizziert) bezüglich **ein bis zwei Phasen** eingeräumt.
2	Den Lernenden werden innerhalb des Lernangebots Spielräume für eigene Entscheidungen (offen oder vorskizziert) bezüglich **drei bis vier Phasen** eingeräumt.
3	Den Lernenden werden innerhalb des Lernangebots Spielräume für eigene Entscheidungen (offen oder vorskizziert) bezüglich **fünf bis sieben Phasen** eingeräumt.

Anmerkungen:
- *Kategorienherkunft: Priemer (2011); Maiseyenka (2014)*
- *Operationalisierung: eigene Entwicklung*

3.4. Zusätzliche Differenzierungsmaßnahmen

Erkenntnisinteresse: Wie viele Differenzierungsmaßnahmen (neben den optionalen Unterstützungsmaßnahmen und der Offenheit) gibt es?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der vier Ausprägungen.

Beschreibung	
Neben bestimmten Unterstützungs- und Differenzierungsmaßnahmen, die durch die Offenheit beim Experimentierprozess gewährleistet wird, gibt es noch weitere Möglichkeiten zur Binnendifferenzierung. Eine Übersicht findet sich z. B. bei Kiel und Syring (2018).	
Code	**Ausprägung**
0	In der schriftlichen Arbeit sind **keine** weiteren Differenzierungsmöglichkeiten eingebaut. Es gibt keine entsprechenden Maßnahmen, wie: • die Wahl der Sozialform (SuS wählen zwischen verschiedenen Sozialformen aus) • eine zusätzliche Aufgabe für stärkere bzw. schnellere Schülerinnen und Schüler • unterschiedliche Aufgaben für stärkere bzw. schwächere SuS • Anpassung des Umfangs der Untersuchung auf die Heterogenität der Schülerinnen und Schüler (Beispiel: Es gibt eine Mindestanzahl an zu vergleichenden Metallen, **zusätzlich** können weitere Metalle untersucht werden.)
1	In der schriftlichen Arbeit ist **eine** zusätzliche Maßnahme zur Differenzierung eingebaut.
2	In der schriftlichen Arbeit sind **zwei** zusätzliche Maßnahmen zur Differenzierung eingebaut.
3	In der schriftlichen Arbeit sind **mindestens drei** zusätzliche Maßnahmen zur Differenzierung eingebaut.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: Kiel und Syring (2018)* • *Operationalisierung: modifiziert nach Weingarten (2019)*	
Hinweise: • Jede zusätzliche Aufgabe wird als einzelne Maßnahme gezählt. • Wahlfreiheit bezüglich der Sozialform muss eindeutig als solche thematisiert werden (Aussagen wie „SuS experimentieren in 2er/3er Gruppen" reichen nicht aus). • Aufgaben, die von allen SuS verpflichtend bearbeitet werden müssen, jedoch als Zusatzaufgabe betitelt werden, stellen keine Differenzierungsmaßnahme dar.	

3.5. Begründung des Öffnungsgrades

Erkenntnisinteresse: Wie detailliert wird der Öffnungsgrad des Experimentierprozesses begründet?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der drei Ausprägungen.

Beschreibung	
Zu einer qualitativ hochwertigen Planung gehört neben der eigentlichen Passung auch die Begründungsqualität (Vogelsang & Riese, 2017). Hier sind die Begründungen, die zur Gestaltung der Offenheit bzw. der Nicht-Offenheit des Experimentierprozesses herangezogen werden, gemeint. Eine gute Begründung ist plausibel und durch Abwägen der Vor- und Nachteile, sowie Haupt- und Nebeneffekten gekennzeichnet. Zur Begründung können beispielsweise Aussagen über die aufgestellten Lernziele oder die Lerngruppe herangezogen werden.	
Code	**Ausprägung**
0	Die Aussagen zur offenen oder geschlossenen Gestaltung bleiben ohne Begründung oder sie sind nicht plausibel und sind widersprüchlich.
1	Die Begründungen zur offenen oder geschlossenen Gestaltung gelingen lediglich oberflächlich und verkürzt.
2	Es werden konkrete Begründungen zur offenen oder geschlossenen Gestaltung gegeben. Gegebenenfalls ist ein gewisses Bemühen um argumentative und abwägende Begründungen vorhanden.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: Vogelsang und Riese (2017)* • *Operationalisierung: eigene Entwicklung*	
Hinweis: Formulierungen wie „die Methode ist geschlossen, da den SuS alle Chemikalien und Geräte am Platz bereitliegen" stellen keine Begründung im Sinne dieser Kategorie dar und werden mit „0" kodiert.	

4. Unterstützungsmaßnahmen

4.1. Detailliertheit der Beschreibung

Erkenntnisinteresse: Wie konkret werden die eingeplanten optionalen Unterstützungsmaßnahmen beschrieben?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der vier Ausprägungen.

Beschreibung	
Diese Kategorie ist im Sinne der Konkretheit (Vogelsang & Riese, 2017) von Planungen zu verstehen. Es genügt nicht nur zu erwähnen, dass Unterstützungsmaßnahmen sinnvoll sind und eingesetzt werden sollten, diese sollten konkret beschrieben werden. Auch zu sagen, die Lehrkraft wirkt unterstützend, ist zu allgemein gefasst. Egal ob Hilfekarten oder Feedback (oder andere Möglichkeiten) eingesetzt werden, je konkreter die Hilfen beschrieben werden, desto besser ist die schriftliche Arbeit zu werten. Mit eingeplanten Unterstützungsmaßnahmen zeigt der Studierende, dass er in der Lage ist mögliche Schwierigkeiten und Hürden vorzudenken.	
Code	**Ausprägung**
0	In der schriftlichen Arbeit werden keine optionalen Unterstützungsmaßnahmen erwähnt. Unter mögliche Unterstützungsmöglichkeiten fallen: • Hilfekärtchen (im Allgemeinen) • Gestufte Lernhilfen (im Speziellen) (Hänze, Schmidt-Weigand & Stäudel, 2010) • Metakognitive, kognitive oder methodische Hilfen (Hänze et al., 2010; Koenen, Emden & Sumfleth, 2016) • Strukturierungshilfen (Walpuski, 2006) • (adaptives) Feedback durch die Lehrkraft (Marschner, 2011)
1	Eingeplante optionale Unterstützungsmaßnahmen werden erwähnt, aber nicht konkret beschrieben. Art der Maßnahmen werden nicht benannt. Dazu zählen Aussagen wie: • „Unterstützung bei Hypothesenplanung"
2	Eingeplante optionale Unterstützungsmaßnahmen werden erwähnt, aber nicht konkret beschrieben. Die Art der Maßnahmen oder der Zeitpunkt der Verwendung werden benannt. Dazu zählen Aussagen wie: • „Die Lehrkraft geht rum und unterstützt die SuS beim Experimentieren" • „Es werden Hilfekarten eingeplant, um die SuS zu unterstützen." • „Das Bereitlegen von Hilfekarten, dem Hinzuziehen der Lehrkraft oder eine Diskussionsrunde vor Versuchsstart können als Unterstützungsmaßnahmen der SuS fungieren" • „Zur Unterstützung bei der Planung des Experiments, werden den SuS 4 verschiedene gestufte Hilfen angeboten." • „Die Lehrkraft beantwortet jeder Gruppe zwei Fragen für die Planung ihres Experiments." • „Es werden nacheinander metakognitive und kognitive Hilfekarten angeboten"
3	Die eingeplanten optionalen Unterstützungsmaßnahmen werden erwähnt und konkretisiert. Es findet eine detaillierte Beschreibung der Hilfen, gegebenenfalls unter Nennung des intendierten Zwecks der Unterstützungsmaßnahme, statt. Darunter fallen Beispiele wie: • „1. Tipp: weist die Schüler darauf hin, die Vorgaben zur Fehling-Reagenz noch einmal genau zu lesen und auf den Aspekt des Mischverhältnisses zu achten" • „Die Lehrkraft hilft den SuS bei der Planung des Experiments, indem sie die SuS bei der Identifikation möglicher Variablen unterstützt."

Anmerkungen:
- *Kategorienherkunft: Vogelsang und Riese (2017); Hänze et al. (2010); Koenen et al. (2016)*
- *Operationalisierung: eigene Entwicklung*

4.2. Ausarbeitung optionaler Unterstützungsmaßnahmen

Erkenntnisinteresse: Werden optionale Unterstützungsmaßnahmen ausgearbeitet?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der beiden Ausprägungen.

Beschreibung	
Unter Unterstützungsmaßnahmen beim selbstregulierten Lernen versteht man im Allgemeinen alle Maßnahmen und Materialien, die den SuS mit dem Zweck bereitgestellt werden, jedem SuS unabhängig von seinem Leistungsstand eine möglichst selbstgesteuertes Durchlaufen des Experimentierprozesses zu ermöglichen. Unterstützungsmaßnahmen lassen sich dabei in optionale und nicht-optionale Hilfen unterteilen. Nicht-optionale Hilfestellungen, wie z. B. auf einem Arbeitsblatt befindliche Tipps, Hinweise oder Abbildungen wirken unterstützend und werden auch von jedem SuS genutzt. Die optionalen Unterstützungsmaßnahmen können hingegen von allen Schülerinnen und Schüler abgestimmt auf ihre Fähigkeiten und nur bei Bedarf verwendet werden. Nach Wirth, Thillmann, Künsting, Fischer und Leutner (2008) ist die Einplanung von optionalen Unterstützungsmaßnahmen durch die Lehrkraft in den Experimentierprozess für ein erfolgreiches, selbstgesteuertes Experimentieren durch die SuS notwendig. Dabei werden nicht nur die individuellen Schwierigkeiten der SuS berücksichtigt (Emden & Koenen, 2016), sondern auch das selbstregulierte Lernen gefördert (Hänze et al., 2010).	
Code	**Ausprägung**
0	In der schriftlichen Arbeit werden keine optionalen Unterstützungsmaßnahmen zum Experimentierprozess ausgearbeitet.
1	In der schriftlichen Arbeit werden optionale Unterstützungsmaßnahmen zum Experimentierprozess ausgearbeitet.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: Wirth et al. (2008); Hänze et al. (2010)* • *Operationalisierung: eigene Entwicklung*	

4.3. Differenzierungsgrad

Erkenntnisinteresse: Wie differenziert sind die eingeplanten Unterstützungsmaßnahmen?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der vier Ausprägungen.

Beschreibung	
Die Angabe von lediglich einer Lösungskarte bietet für SuS geringe Chancen, kognitiv aktiviert zu werden. Je differenzierter die Hilfen gestaltet werden, desto besser sind sie geeignet, um den unterschiedlichen Lernvoraussetzungen von SuS gerecht zu werden. Bei gestuften Lernhilfen finden in der Regel fünf bis sechs verschiedene Hilfen Verwendung (Hänze et al., 2010). Unterstützungsmaßnahmen können in jedem Teilprozess des Experimentierprozesses angeboten werden. Unter Teilprozesse werden hier einerseits die möglichen Experimentierphasen andererseits auch die damit verknüpften hinführenden oder weiterführenden Aufgaben verstanden.	
Code	**Ausprägung**
0	**Entweder** wurden keine konkreten Hilfen ausgearbeitet **oder** pro Teilprozess wird nur **ein** Unterstützungsangebot angeboten. • Zum Beispiel gibt es nur eine Lösungskarte
1	Es gibt mindestens einen Teilprozess, in dem **zwei** Unterstützungsmaßnahmen angeboten werden. • zwei verschiedene kognitive oder metakognitive Hilfen • eine schriftliche Hilfe und einmal Lehrerfeedback
2	Es gibt mindestens einen Teilprozess, in dem **drei** Unterstützungsmaßnahmen angeboten werden.
3	Es gibt mindestens einen Teilprozess, in dem **mindestens vier** Unterstützungsmaßnahmen angeboten werden.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: z. B. Hänze et al. (2010)* • *Operationalisierung: eigene Entwicklung*	

4.4. Unterstützungsebenen

Erkenntnisinteresse: Inwiefern werden mehrere Unterstützungsebenen angesprochen?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der vier Ausprägungen.

Beschreibung	
Im Rahmen der gestuften Lernhilfen (Hänze et al., 2010) wird bewusst auf zu häufiges einschleusen fehlender Informationen verzichtet. Im Mittelpunkt steht dagegen die Aktvierung vorhandenen Vorwissens oder bestimmten metakognitiven Strategien. Emden und Koenen (2016) heben neben dem Ausgleich von Vorwissensdefiziten durch inhaltliche Hilfen auch die Bedeutung von Anregungen (Prompts) zur Überwindung eines Produktionsdefizits hervor. Einigkeit besteht demnach darin, dass sich das Aktivieren bestimmten Vorwissens und bestimmter Strategien vorteilhaft auf das „Lernen und Verstehen von Inhalten" (Emden & Koenen, 2016, S. 26) auswirken kann.	
Code	**Ausprägung**
0	Es wurden keine konkreten Hilfen ausgearbeitet **oder** bei den eingeplanten Hilfen werden lediglich Informationen gegeben (Informationsinput).
1	Neben oder statt Informationsinput gibt es noch entsprechende kognitive Unterstützungsmaßnahmen zur Aktivierung von Vorwissen wie Fragen oder Prompts. Hierzu zählen z. B. Anregungen wie • „Denkt daran, was ihr bereits über die Eigenschaften der Metalle gelernt habt." • „Was muss das Metall abgeben, um ein Kation zu bilden?"
2	Neben oder statt Informationsinput gibt es noch metakognitive Hilfen (z. B. Visualisierung, Verifizierung, Paraphrasierung, Elaboration, Fokussierung) **oder** eine Kombination von Fragen/Prompts mit Antworten/Erläuterungen.
3	Neben oder statt Informationsinput gibt es noch metakognitive Hilfen (z. B. Visualisierung, Verifizierung, Paraphrasierung, Elaboration, Fokussierung) **und** eine Kombination von Fragen/Prompts mit Antworten/Erläuterungen.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: Hänze et al. (2010); Emden und Koenen (2016)* • *Operationalisierung: eigene Entwicklung*	

4.5. Begründung der Verwendung oder Nicht-Verwendung von Unterstützungsmaßnahmen

Erkenntnisinteresse: Wie detailliert wird die Verwendung oder Nicht-Verwendung von Unterstützungs- und Differenzierungsmaßnahmen begründet?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der drei Ausprägungen.

Beschreibung	
Unabhängig davon, ob Unterstützungsmaßnahmen eingeplant oder konkret beschrieben sind, sollte deren bewusster Einsatz oder dessen bewusstes Weglassen begründet werden.	
Code	**Ausprägung**
0	Die Verwendung oder Nicht-Verwendung von Unterstützungsmaßnahmen bleiben ohne Begründungen oder sie erscheinen widersprüchlich und sind nicht nachvollziehbar.
1	Die Begründungen für die Verwendung oder Nicht-Verwendung von Unterstützungsmaßnahmen gelingen lediglich oberflächlich und verkürzt.
2	Es werden konkrete Begründungen zur Verwendung oder Nicht-Verwendung von Unterstützungsmaßnahmen gegeben. Gegebenenfalls ist ein gewisses Bemühen um argumentative und abwägende Begründungen vorhanden.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: Vogelsang und Riese (2017)* • *Operationalisierung: eigene Entwicklung*	

5. Einbettung

5.1. Fachimmanente Einbettung

Erkenntnisinteresse: Inwiefern wird der Experimentierprozess mit fachinhaltlichen Aspekten verknüpft?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der vier Ausprägungen.

Beschreibung	
Einbettung meint dabei die Herstellung einer Verknüpfung zu vorher gelernten, fachlichen Inhalten (fachimmanente Einbettung) oder zu lebensweltlichen Kontexten. Je mehr Bezüge (zwischen experimentellem Handeln und dem verbleibenden Unterricht) aufgezeigt werden können, desto eher können Schülerinnen und Schüler das Experiment als Lerngelegenheit wahrnehmen und Verantwortung für ihr Lernen übernehmen. **Fachimmanent:** „Vorher behandelte Fachinhalte werden hervorgehoben und in Bezug zum Experiment gesetzt. Andererseits werden die Schülerinnen und Schüler durch einen Ausblick auf das bevorstehende Experiment vorbereitet. Darüber hinaus gehört zu einer guten Einbettung auch das Wiederaufnehmen dieser Fachinhalte am Ende der Experimentiereinheit" (Börlin, 2012, S. 67).	
Code	**Ausprägung**
0	Der Experimentierprozess wird nicht fachimmanent eingebettet. Es gibt keine • Hervorhebung vorher behandelter Fachinhalte • Wiederaufnahme der Fachinhalte am Ende der Experimentiereinheit
1	Der Experimentierprozess wird **kaum** fachimmanent eingebettet. Vorher behandelte Fachinhalte werden zu Beginn des Experimentierprozesses aufgegriffen und erwähnt, ohne diese explizit auszuführen.
2	Das Experiment wird **teilweise** fachimmanent eingebettet. Vorher behandelte Fachinhalte werden zu Beginn des Experimentierprozesses hervorgehoben und nochmals ausgeführt. Die fachlichen Zusammenhänge werden jedoch am Ende der Experimentiereinheit nicht erneut aufgenommen.
3	Das Experiment wird **überwiegend** fachimmanent eingebettet. Das bedeutet, vorher behandelte Fachinhalte werden zu Beginn des Experimentierprozesses hervorgehoben und nochmals ausgeführt. Die fachlichen Zusammenhänge werden am Ende der Experimentiereinheit erneut aufgenommen.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: Börlin (2012)* • *Operationalisierung: modifiziert nach Börlin (2012)*	
Hinweis: Hierzu muss klar ersichtlich sein, dass es sich um einen vorher behandelten Fachinhalt handelt. Dies kann in der Beschreibung der Voraussetzungen zur Lerngruppe oder durch entsprechende Formulierungen (z. B. „wie wir in der letzten Stunde gelernt haben") deutlich werden.	

5.2. Lebensweltliche Einbettung

Erkenntnisinteresse: Inwiefern wird der Experimentierprozess mit lebensweltlichen Aspekten verknüpft?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der vier Ausprägungen.

Beschreibung	
Einbettung meint dabei die Herstellung einer Verknüpfung zu vorher gelernten fachlichen Inhalten (fachimmanente Einbettung) oder zu lebensweltlichen Kontexten. Je mehr Bezüge (zwischen experimentellem Handeln und dem verbleibenden Unterricht) aufgezeigt werden können, desto eher können Schülerinnen und Schüler das Experiment als Lerngelegenheit wahrnehmen und Verantwortung für ihr Lernen übernehmen. **Lebensweltlich:** „Das Experiment wird in einen lebensweltlichen Zusammenhang gestellt und aktiviert damit die Aufmerksamkeit und das Interesse der Schülerinnen und Schüler. Ein lebensweltlicher Zusammenhang ergibt sich durch die Verankerung des Experiments an einen gesellschaftlichen oder historischen Bezugspunkt. Darüber hinaus gehört zu einer guten Einbettung auch das Wiederaufnehmen der lebensweltlichen Zusammenhänge am Ende der Experimentiereinheit" (Börlin, 2012, S. 68).	
Code	**Ausprägung**
0	Der Experimentierprozess wird nicht in lebensweltliche Kontexte eingebettet. Es gibt keine • Verankerung des Experiments an einen gesellschaftlichen oder historischen Bezugspunkt • Wiederaufnahme der Zusammenhänge am Ende der Experimentiereinheit.
1	Das Experiment wird **kaum** in einen lebensweltlichen Kontext eingebettet. Das bedeutet, lebensweltliche Problemstellungen oder Fragen werden vor oder nach dem Experimentierprozess aufgegriffen oder erwähnt, jedoch bleibt die Verbindung zum Experiment unklar. Beispiele: • Aufgreifen von Stoffen, die im Experiment vorkommen, ohne einen konkreten Bezug zum Experiment herzustellen. • Allgemeine Einbettung **ohne konkrete Beschreibung** eines lebensweltlichen Bezugs, auch wenn dieser nach dem Experimentierprozess wieder aufgegriffen werden soll.
2	Das Experiment wird **teilweise** in einen lebensweltlichen Kontext eingebettet. Das bedeutet, lebensweltliche Problemstellungen oder Fragen werden vor oder nach dem Experimentierprozess aufgegriffen und eine Verbindung zum Experiment hergestellt. Die Zusammenhänge werden am Ende der Experimentiereinheit nicht erneut aufgenommen.
3	Das Experiment wird **überwiegend** in einen lebensweltlichen Kontext eingebettet. Das bedeutet, lebensweltliche Problemstellungen oder Fragen werden vor oder nach dem Experimentierprozess thematisiert und eine Verbindung zum Experiment wird hergestellt. Die Zusammenhänge werden am Ende der Experimentiereinheit erneut aufgenommen.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: Börlin (2012)* • *Operationalisierungen: modifiziert nach Börlin (2012)*	
Hinweise: • Problemorientierte Lernumgebungen sind nicht zwangsläufig lebensweltlich eingebettet. • Überschriften und die Verwendung von Alltagschemikalien, welche einen lebensweltlichen Kontext andeuten, sind alleine nicht ausreichend, um als lebensweltliche Einbettung gewertet zu werden. • Nicht nur schriftliche Maßnahmen können als Einbettung dienen. Ggf. beschreiben die Studierenden in ihren Ausführungen andere denkbare Formen.	

5.3. Zielklarheit

Erkenntnisinteresse: Wird durch entsprechende Maßnahmen Zielklarheit geschaffen?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der beiden Ausprägungen.

Beschreibung	
Für die Effektivität eines Experiments ist es bedeutsam, dass die SuS wissen, was das Ziel des Experiments ist bzw. aus welchem Grund sie experimentieren. Deshalb ist eine gewisse Transparenz der Ziele ein wichtiger Aspekt hinsichtlich der Qualität von Experimentierprozessen (Börlin, 2012; Hofstein & Lunetta, 2004; Millar, 2009). Dabei ist nicht gemeint, dass der Lösungsweg vorgegeben wird, sondern dass den SuS klargemacht wird, welches Problem sie lösen sollen bzw. welche Fragestellung zu beantworten ist. Problemorientierte Lernumgebungen gelten als positiv für die Aktivierung von Vorwissen und damit für den Wissenserwerb der Schülerinnen und Schüler (Krause & Stark, 2006). Neben Problemstellungen können auch Fragestellungen, Hinführungen oder Aufgabenstellungen für die notwendige Zielklarheit sorgen. In jedem Fall sollten aber folgende **Mindestanforderungen** erfüllt sein (Börlin, 2012): • Klarheit der Problemstellung/Fragestellung, Hinführung oder Aufgabenstellung • Verwendung einer adäquaten Sprache	
Code	**Beschreibung**
0	Die schriftliche Arbeit enthält entweder keine: • Problemstellung/Fragestellung • Hinführung • oder entsprechende Aufgabenstellung, welche den Zweck des Experiments verdeutlichen soll oder die SuS zur Formulierung einer Problem-/Fragestellung anleitet. Oder die schriftliche Arbeit enthält eine: • Problemstellung/Fragestellung • Hinführung • oder entsprechende Aufgabenstellung, welche den Zweck des Experiments verdeutlichen soll oder die SuS zur Formulierung einer Problem-/Fragestellung anleitet. Diese erfüllen die oben genannten Mindestanforderungen nicht.
1	Die schriftliche Arbeit enthält eine: • Problemstellung/Fragestellung. • Hinführung. • oder entsprechende Aufgabenstellung, welche den Zweck des Experiments verdeutlichen soll oder die SuS zur Formulierung einer Problem-/Fragestellung anleitet. Diese erfüllen die oben genannten Mindestanforderungen.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft:* Börlin (2012); Millar (2009); Hofstein und Lunetta (2004) • *Operationalisierung: modifiziert nach Börlin (2012)*	
Hinweise: • Die Aufgabenstellung zur Formulierung einer Problem-/Fragestellung muss konkret ausformuliert sein (kein „Problem:"). • Wenn eine konkret ausformulierte Problem-/Fragestellung, laut den Ausführungen, im Plenum besprochen werden soll, wird mit 1 kodiert, sofern die Mindestanforderungen erfüllt sind.	

5.4. Generalisierung und Verallgemeinerung

Erkenntnisinteresse: Ist eine Generalisierung und Verallgemeinerung der gewonnenen Ergebnisse eingeplant?

Grundregel: Disjunkte Zuweisung in **eine** der beiden Ausprägungen.

Beschreibung	
Um ihr naturwissenschaftliches Verständnis zu unterstützen, sollen die Schülerinnen und Schüler dazu aufgefordert werden, ihre Beobachtungen und Ergebnisse mit anderen chemischen Untersuchungen in Verbindung zu setzen (in Bezug auf Ähnlichkeiten, Unterschiede, Trends, Zusammenhänge). Dabei sollen sie eventuelle Regelmäßigkeiten festhalten. Dadurch können die Schülerinnen und Schüler ihr Verständnis zu einem naturwissenschaftlichen Konzept, Modell oder einer Theorie aufzeigen. Auch das Aufstellen von Reaktionsgleichungen ist eine Möglichkeit, um die Ergebnisse eines Experiments aufzuarbeiten (Stiller, 2015). Die Erklärung auf Teilchenebene ist eine andere Art der Wissenssicherung. Nach Taber (2001) bereitet es Schülerinnen und Schülern Schwierigkeiten, Zusammenhänge zwischen der Stoff- und Teilchenebene zu erkennen. Jedoch sind Erklärungen auf der Teilchenebene wichtig, um die theoretischen Hintergründe dessen zu erfassen, was auf Stoffebene zu beobachten ist (Taber, 2001). Daher dient die Erklärung auf Teilchenebene zum einen dem besseren Verständnis des zugrundeliegenden Experiments. Zum anderen werden die SuS darin geübt, zwischen den beiden Ebenen zu unterscheiden. Als weitere Möglichkeit der Generalisierung dient der Transfer der Erkenntnisse auf weitere Reaktionen. Zur Generalisierung und Verallgemeinerung zählen: • Die konkreten Untersuchungsergebnisse werden in einen höheren thematischen Zusammenhang dargestellt. • Es werden Regeln / je...desto-Aussagen formuliert • Erklärungen bsow. auf Teilchenebene • Aufstellen von Reaktionsgleichungen • Übertragen der Erkenntnisse auf weitere Reaktionen (Transfer)	
Code	**Ausprägung**
0	Die schriftliche Arbeit enthält **keinen** der oben genannten Aspekte zur Generalisierung oder Verallgemeinerung der konkreten Untersuchungsdaten.
1	Die schriftliche Arbeit enthält **mindestens einen** der oben genannten Aspekte zur Generalisierung oder Verallgemeinerung der konkreten Untersuchungsdaten.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: Millar (2009); Stiller (2015); Taber (2001)* • *Operationalisierung: modifiziert nach Stiller (2015)*	
Hinweise: • „1" wird nur kodiert, wenn die Art der Generalisierung und Verallgemeinerung (siehe obige Liste) deutlich wird. • Die Art der Generalisierung und Verallgemeinerung kann auch in den Ausführungen u. a. zu den Lernzielen erwähnt werden.	

6. Passung

6.1. Passung Lerngruppe und Experimentierprozess

Erkenntnisinteresse: Inwiefern passen Aussagen über die Lerngruppe zu dem geplanten Experimentierprozess?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der vier Ausprägungen.

Beschreibung	
Bei der Unterrichtsplanung sollten die Voraussetzungen der SuS einbezogen und die didaktische Strukturierung darauf aufbauend vorgenommen werden (Kattmann, 2007). Auch in anderen allgemeindidaktischen Planungsmodellen spielen die Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler eine große Rolle (Ziener et al., 2015). Bezogen auf selbstgesteuerte Experimentierprozesse konstatiert Koenen (2016), dass sich der Grad der Offenheit des Experimentierprozesses stets an den Fähigkeiten bzw. Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler orientieren sollte. Für eine gute Passung zwischen Lerngruppe und Experimentierprozess sollten folgende Aspekte erfüllt sein: • Der überwiegende Anteil des beschriebenen Vorwissens ist zur Bearbeitung der Experimentieraufgabe erforderlich. • Das zur Bearbeitung der Experimentieraufgabe(n) nötige Vorwissen wird beschrieben. • Das beschriebene Präkonzept (oder Fehlvorstellung) der SuS wird in der Experimentieraufgabe implizit aber deutlich aufgegriffen. • Die beschriebene **konkrete** experimentelle Fähigkeit (bestimmte Arbeitsweise, wie z. B. Titration, Destillation und/oder Denkweise, wie z. B. Variablenkontrolle) ist zur Bearbeitung der Experimentieraufgabe erforderlich.	
Code	**Ausprägung**
0	In der schriftlichen Arbeit ist **keiner** der oben genannten Aspekte feststellbar. Wird auch kodiert, wenn die Lerngruppe nicht detailliert genug geschrieben wurde, um eine Aussage über die Passung treffen zu können.
1	In der schriftlichen Arbeit ist **einer** der oben genannten Aspekte feststellbar.
2	In der schriftlichen Arbeit sind **zwei** der oben genannten Aspekte feststellbar.
3	In der schriftlichen Arbeit sind **mindestens drei** der oben genannten Aspekte feststellbar.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: Kattmann (2007); Koenen (2016)* • *Operationalisierung: eigene Entwicklung*	
Hinweise: • Werden mehrere verschiedene experimentelle oder fachliche Voraussetzungen beschrieben, so muss die Passung für jede einzelne Aussage überprüft werden. • Unkonkrete Aussagen, wie der allgemeine Umgang mit Chemikalien, werden beim vierten Aspekt nicht beachtet.	

6.2. Anzahl der Lernziele

Erkenntnisinteresse: Wie viele Lernziele sind in der Planung enthalten?

Grundregel: Eintragung der absoluten Anzahl an formulierten Lernzielen.

Beschreibung	
Um Aussagen über die Passung der Lernziele mit dem Experimentierprozess treffen zu können (siehe Kapitel 6.3), ist es zunächst wichtig, einzelne Lernziele zu erkennen bzw. voneinander zu separieren. Dabei soll folgendermaßen vorgegangen werden: **Mindestanforderungen an die formulierten Lernziele:** • Ein Lernziel definiert sich mindestens über einen Lerngegenstand und einen dazugehörigen Operator. • Im Sinne der Mindestanforderung wird jedes Verb, das die Lernzielebene näher beschreibt, als Operator aufgefasst (Kliebisch & Meloefski, 2006). **Kodierung:** • Entsprechend der Mindestanforderung wird jedes Lerngegenstand-Operator-Paar als Lernziel gezählt. • Wenn eine Formulierung mehrere Lerngegenstand-Operator-Paare enthält, wird jedes dieser Paare als separates Lernziel gezählt. o Beispiel: In der Formulierung „SuS kennen die Reihe der unedlen/edlen Metalle und können Oxidations-/Reduktionswirkung von Metallen grob vorhersagen" sind zwei Lernziele enthalten. • Identische oder inhaltlich gleiche Lerngegenstand-Operator-Paare in unterschiedlichen Formulierungen werden als ein Lernziel gezählt. o Beispiele: „Die SuS beschreiben die Redoxreaktion von unedlen Metallen und Säuren" **und** „die SuS beschreiben den Redoxvorgang".	
Code	**Ausprägung**
0	kein Lernziel
1	1 Lernziel
2	2 Lernziele
...	...
x	x Lernziele
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: Vogelsang und Riese (2017), Kliebisch und Meloefski (2006)* • *Operationalisierung: eigene Entwicklung, Ausprägungen nach Döring und Bortz (2016)*	
Hinweis: • Deutlich als Lernziele erkennbare Formulierungen unter dem Aspekt „Funktion des Experiments" werden auch zur Kodierung herangezogen. • Formulierungen wie „Problemlösen" (= Lösen von Problemen), welche im Dokument klar den Lernzielen zugeordnet wurden, werden auch als Lernziele gewertet. Werden solche Formulierungen klar dem Aspekt „Funktion des Experiments" zugeordnet, werden diese nicht als Lernziel gezählt. • Auf dem Deckblatt der Protokolle befindet sich in der Regel ein formuliertes Hauptlernziel.	

6.3. Passung Lernziele und Experimentierprozess

Erkenntnisinteresse: Inwiefern passen die aufgestellten Lernziele und der geplante Experimentierprozess zueinander?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der vier Ausprägungen.

Beschreibung
Je stärker eine Unterrichtsplanung von Lernzielen aus strukturiert wird oder diese eine zentrale Rolle bei den Begründungen einnehmen, desto qualitativ hochwertiger ist die Planung (Vogelsang & Riese, 2017). Die Gestaltung des Experimentierprozesses sollte demnach zu den formulierten Lernzielen passen. Beispiel: Das Lernziel „die SuS sollen eine experimentelle Untersuchung unter Berücksichtigung der Variablenkontrollstrategie am Beispiel der Untersuchung unedler Metalle in verdünnten sauren Lösungen planen können". Hier sollte die Planung der Untersuchung und der Aspekt der Variablenkontrolle (Strategie) entsprechend geöffnet werden, damit die SuS entsprechend der selbstständigen Bearbeitung (kognitiven Aktivierung) das Lernziel erreichen können. Sind die Aspekte nicht geöffnet so ist die Passung und damit die Qualität der Planung als geringer zu werten. Insgesamt muss für jedes genannte Lernziel einzeln geprüft werden, ob eine Erreichung durch den geplanten Experimentierprozess generell möglich ist. Dabei kann man prinzipiell unterscheiden, ob das Lernziel eine Prozess- oder eine fachinhaltliche Ebene thematisiert (Koenen, 2016). Bei der Prozessebene (z. B. bestimmte Phasen des Experimentierprozesses) sollten die entsprechend fokussierten Phasen (damit verbunden Strategien und Methoden) auch selbstständig durchgeführt werden können. Bei Fokussierung der fachinhaltlichen Ebene muss geprüft werden, ob der entsprechende Fachinhalt auch am Ende (beispielsweise als Erkenntnis) aus dem Experimentierprozess hervorgeht bzw. thematisiert wird. Bei Lernzielen, die dem Kompetenzbereich Kommunikation zugeordnet werden können, können Aussagen über die geplante Sozialform herangezogen werden. **Kriterien für die unzureichende Passung von Lernzielen:** • Unkonkret formulierte Lernziele werden als nicht passend betrachtet. Beispiele: ○ Wissen vermitteln (→ Welches Wissen?) ○ Experimentelle Fähigkeiten verbessern (→ Welche exp. Fähigkeiten?) ○ Soziale Kompetenzen verbessern (→ Welche sozialen Kompetenzen?) ○ SuS können angemessen mit Geräten umgehen. (→ Welche Geräte?) ○ SuS halten Sicherheitsmaßnahmen ein (→ Welche konkreten?) ○ Lösen von Problemen • Lernziele, die als Vorwissen deklariert wurden, werden als nicht passend betrachtet. ○ Achtung: Die Anwendung von Vorwissen kann dagegen ein passendes Lernziel sein. **Beispiele für die Passung zwischen Lernzielen und Experimentierprozess:** • Das formulierte fachliche Lernziel kann durch den Experimentierprozess oder eine zugehörige Aufgabenstellung erarbeitet werden. • Ist das Lernziel das „üben des Wegs der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung" so müssen die SuS mindestens zwei Experimentierphasen selbstständig durchlaufen. • Ist das Lernziel das „Prüfen von Hypothesen/Fragestellungen durch geeignete Experimente" muss einerseits die experimentelle Prüfung möglich sein und andererseits ein Rückbezug zur Hypothese intendiert sein. • Lernziele, die dem Kompetenzbereich Kommunikation zugeordnet werden können, können mit dem geplanten Experimentierprozess erreicht werden (z. B. zum Lernziel passende Wahl der Sozialform).

• Lernziele, die dem Kompetenzbereich Bewertung zugeordnet werden können, können mit dem geplanten Experimentierprozess erreicht werden (z. B. gibt es eine Aufgabe, in der die SuS die Bedeutung der Lerninhalte für die Gesellschaft herausarbeiten).	
Code	**Ausprägung**
0	In der schriftlichen Arbeit werden **keine** Lernziele formuliert oder die formulierten Lernziele und der geplante Experimentierprozess passen in **keinem Fall** zueinander.
1	In der schriftlichen Arbeit passen die formulierten Lernziele und der geplante Experimentierprozess in **maximal der Hälfte** der Fälle zueinander. Wird nicht kodiert, wenn die formulierten Lernziele und der geplante Experimentierprozess in keinem Fall zueinander passen.
2	In der schriftlichen Arbeit passen die formulierten Lernziele und der geplante Experimentierprozess in **über der Hälfte** der Fälle zusammen. Wird nicht kodiert, wenn die formulierten Lernziele und der geplante Experimentierprozess vollständig zueinander passen.
3	In der schriftlichen Arbeit passen die formulierten Lernziele und der geplante Experimentierprozess **vollständig** zueinander.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: Vogelsang und Riese (2017)* • *Operationalisierung: eigene Entwicklung*	
Hinweise: • Hier wird am besten ausgehend vom Lernziel gearbeitet und daraufhin der Experimentierprozess überprüft. • Auf dem Deckblatt der Protokolle befindet sich in der Regel ein formuliertes Hauptlernziel.	

6.4. Passung Unterstützungsmaßnahmen und Offenheit

Erkenntnisinteresse: Inwiefern passen die optionalen Unterstützungsmaßnahmen zur Offenheit des geplanten Experimentierprozesses?

Grundregel: Disjunkte Zuordnung in **eine** der vier Ausprägungen.

Beschreibung	
„Konsens scheint zu sein, dass das Forschende Lernen aufgrund seiner inhaltlichen Komplexität der Strukturierung oder Unterstützung durch die Lehrkraft bedarf, um einer Überforderung der Schüler vorzubeugen und somit erfolgreiches Lernen überhaupt erst möglich zu machen" (Arnold, Kremer & Mayer, 2017, S. 22). Dabei ist es von Bedeutung, dass die Unterstützungsmaßnahmen zum Experimentierprozess passen (z. B. Unterstützung bei bestimmten oftmals sehr spezifischen Hürden des jeweiligen Experiments). Außerdem sollte die Offenheit nur bedingt eingeschränkt werden. Der Experimentierprozess sollte selbstgesteuert bleiben und die Hilfen nur bei Bedarf verfügbar sein. Inhaltlich lenkende Hinweise/Hilfen/Tipps, die allen SuS verpflichtend gegeben werden, schränken die Offenheit (möglicherweise ungewollt) wieder ein. „Die Ergebnisse zeigen, dass das Schülerexperiment lernförderlich sein kann, wenn Schülerinnen und Schülern [...] während des Lernens bei der metakognitiven Regulation ihres Lernprozesses unterstützt werden" (Wirth et al., 2008, S. 361). **Kriterien** für eine gute Passung sind: • Für den überwiegenden Anteil selbstgesteuerter Phasen (Problemidentifikation bzw. Formulierung einer Fragestellung, Aufstellen von Hypothesen, Planung des Experiments, Datenaufnahme, Auswertung der gewonnenen Daten, Schlussfolgerung) werden optionale Unterstützungsmaßnahmen bereitgestellt. • Der überwiegende Anteil der optionalen Unterstützungsmaßnahmen ist inhaltlich angemessen auf den Experimentierprozess bezogen. • Beim überwiegenden Anteil der optionalen Unterstützungsmaßnahmen wird der Zweck und/oder der Zeitpunkt der Nutzung für die **SuS** deutlich (z. B. durch Überschriften oder Markierungen auf dem Arbeitsblatt oder auf den Hilfekarten oder es erfolgt eine Beschreibung, dass die Hilfen nach den Phasen des Experimentierprozesses geordnet sind).	
Code	**Ausprägung**
0	Trotz selbstgesteuerter Phasen des Experimentierprozesses werden keine optionalen Unterstützungsmaßnahmen beschrieben oder ausgearbeitet. Dadurch trifft **keines** der obigen Kriterien zu.
1	Es werden optionale Unterstützungsmaßnahmen beschrieben oder ausgearbeitet. Dabei trifft **eines** der oben genannten Kriterien zu.
2	Es werden optionale Unterstützungsmaßnahmen beschrieben oder ausgearbeitet. Dabei treffen **zwei** der oben genannten Kriterien zu.
3	Es werden optionale Unterstützungsmaßnahmen beschrieben oder ausgearbeitet. Dabei treffen **drei** der oben genannten Kriterien zu.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: Arnold et al. (2017); Wirth et al. (2008)* • *Operationalisierung: eigene Entwicklung*	
Hinweis: • Wenn eine Hilfe nicht einer bestimmten Phasen zugeordnet wurde, jedoch in mehreren Phasen Unterstützung bieten kann, kann die Hilfe der noch nicht unterstützten Phase zugeordnet werden.	

7. Experimentierprozess

7.1. Frage-/Problemstellung

Erkenntnisinteresse: Werden experimentell überprüfbare Fragestellungen eingeplant?

Grundregel: Disjunkte Zuweisung in **eine** der zwei Ausprägungen.

Beschreibung	
Konkrete Frage- bzw. Problemstellung (und ggf. Hypothesen) stehen am Anfang von Experimentierprozessen. Um mit Hilfe von Experimenten Antworten bzw. Lösungen dafür zu finden, müssen diese aber nach bestimmten Kriterien formuliert sein. Ein wichtiges Kriterium neben der Falsifizierbarkeit (Chalmers & Bergemann, 2007) ist die experimentelle Überprüfbarkeit. Das bedeutet, Fragestellungen müssen so formuliert sein, dass man diese mit Hilfe eines Experiments auch beantworten kann. Für die Qualität eines selbstgesteuerten Experimentierprozess ist daher bedeutsam, dass eine experimentell überprüfbare Frage- oder Problemstellung zu Beginn gestellt wird bzw. deren Formulierung angeleitet wird. Ein Beispiel für nicht experimentell überprüfbare Fragestellungen sind Fragestellungen, die nur mit Hilfe der Teilchenebene bestimmter chemischer oder physikalischer Abläufe und damit theoretisch beantwortet werden können.	
Code	**Ausprägung**
0	Es wird ohne konkrete Frage-/Problemstellung oder Hypothesen gearbeitet und es gibt auch keine Aufgabenstellung, die die Formulierung von Fragestellungen oder Hypothesen durch die SuS anleitet. Frage-/Problemstellung oder Hypothesen sind vorhanden, jedoch ist das Kriterium der experimentellen Überprüfbarkeit verletzt: • Formulierung einer nicht experimentell überprüfbaren Fragestellung (z. B. in welcher Reaktion reagiert Magnesium mit Salzsäure?) • Nutzung von Problemstellungen, Hinführungen oder Aufgabenstellungen, die die Formulierung von nicht experimentell überprüfbaren Fragestellungen oder Hypothesen durch die SuS zur Folge haben (z. B. Stelle eine Hypothese auf, welche Reaktion ablaufen könnte).
1	Frage-/Problemstellung oder Hypothesen vorhanden. Diese entsprechen dem Kriterium der experimentellen Überprüfbarkeit: • Formulierung einer experimentell überprüfbaren Fragestellung. • Nutzung von Problemstellungen, Hinführungen oder Aufgabenstellungen, die die Formulierung von experimentell überprüfbaren Fragestellungen oder Hypothesen durch die SuS möglich machen. Die Problem- oder Fragestellung ist dabei aber **nicht** mit dem intendierten Experimentierprozess überprüfbar. Beispielsweise ist die Vorauswahl der Materialien und Chemikalien nicht zur Beantwortung der Fragestellung geeignet.
2	Frage-/Problemstellung oder Hypothesen vorhanden. Diese entsprechen dem Kriterium der experimentellen Überprüfbarkeit: • Formulierung einer experimentell überprüfbaren Fragestellung. • Nutzung von Problemstellungen, Hinführungen oder Aufgabenstellungen, die die Formulierung von experimentell überprüfbaren Fragestellungen oder Hypothesen durch die SuS möglich machen. Die Problem- oder Fragestellung ist dabei auch mit dem intendierten Experimentierprozess überprüfbar.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: eigene Entwicklung* • *Operationalisierung: eigene Entwicklung*	

7.2. Phasen des Experimentierprozesses

Erkenntnisinteresse: Sind die Phasen des Experimentierprozesses in einer im epistemologischen Sinne logischen Reihenfolge?

Grundregel: Disjunkte Zuweisung in **eine** der zwei Ausprägungen.

Beschreibung	
Ein Experimentierprozess gliedert sich in verschiedene Teilprozesse, auch Phasen genannt. Damit im Zusammenhang stehend sind Teilkompetenzen, die die Schülerinnen und Schüler beherrschen bzw. erlernen sollen. Zu den Teilprozessen zählen z. B. nach (Maiseyenka, 2014): 1. Entwicklung von Fragestellungen 2. Bilden von Vermutungen/Hypothesen 3. Planung des Experiments 4. Aufbauen eines funktionsfähigen Versuchs 5. Beobachten/Messen/Dokumentieren 6. Aufbereitung bzw. Auswertung der erhobenen Daten 7. Ziehen von Schlussfolgerungen Diese Phasen modellieren und vereinfachen zwar den experimentellen Erkenntnisgewinnungsprozess, wie er in den Naturwissenschaften Anwendung findet, ermöglicht den Schülerinnen und Schülern aber eine aus epistemologischer Sicht logische Abfolge der Experimentierphasen nachzuvollziehen. Diese logische Abfolge stellte eine Grundvoraussetzung für einen qualitativ hochwertigen Experimentierprozess dar, wie er in der Schule vermittelt werden kann.	
Code	**Ausprägung**
0	Die Phasen des Experimentierprozesses befinden sich in einer aus epistemologischer Sicht unlogischen Reihenfolge (einzelne Phasen genügen).
1	Die Phasen des Experimentierprozesses befinden sich in einer aus epistemologischer Sicht logischen Reihenfolge.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: z. B. Maiseyenka (2014)* • *Operationalisierung: eigene Entwicklung*	
Hinweis: Beim explorativen Experimentieren kann das Bilden von Hypothesen auch am Ende des Experimentierprozesses stehen (Maurer & Rincke, 2013).	

7.3. Prozessreflexion

Erkenntnisinteresse: Ist eine Reflexion des Experimentierprozesses eingeplant?

Grundregel: Disjunkte Zuweisung in **eine** der beiden Ausprägungen.

Beschreibung	
Der Experimentierprozess kann in mehrere Phasen unterteilt werden. Tesch (2005) unterteilt ihn in die drei Phasen der Vorbereitung, das Experimentieren und die Nachbereitung. In dieser letzten Phase sieht Börlin (2012) die Reflexion über das Experiment als wichtigen Bestandteil an, da sich die Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler seiner Meinung nach erst durch Reflexionen entwickeln können. Indem sie sich ihr Vorgehen während des Experimentierens vergegenwärtigen, können sie Ursachen für Fehler und Misserfolge erkennen. Somit ist die Reflexion Teil des Experimentierprozesses. Aufgabe der Lehrkraft ist es, die Schülerinnen und Schüler zu ermutigen, „ihr Handeln bzw. ihre Ideen zu reflektieren" (Börlin, 2012, S. 70). Dabei sollen die SuS beurteilen, ob ihr Vorgehen zum gewünschten Ergebnis beiträgt oder ob ihre Vermutungen begründet sind. Die Reflexion wird durch die Lehrkraft eingeleitet, indem die SuS ihr Vorgehen erklären und begründen müssen.	
Code	**Ausprägung**
0	Keine inhaltliche Beschäftigung mit der Thematisierung der Reflexion einer Untersuchung.
1	SuS werden dazu aufgefordert, den Experimentierprozess zu reflektieren. Die Versuchsplanung oder die Versuchsdurchführung sollen rückblickend auf Grundlage der durchgeführten Prozesse kritisch betrachtet werden.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: Börlin (2012); Tesch (2005)* • *Operationalisierung: Stiller (2015)*	
Hinweis: Sind entsprechende Experimentierphasen stark geöffnet, so muss eine mögliche Prozessreflexion in den Beschreibungen thematisiert sein. Ist dies der Fall, so kann hier „1" kodiert werden, andernfalls wird hier „0" kodiert.	

7.4. Ergebnisreflexion

Erkenntnisinteresse: Ist eine Reflexion der Ergebnisse des Experimentierprozesses eingeplant?

Grundregel: Disjunkte Zuweisung in **eine** der beiden Ausprägungen.

Beschreibung	
Im Zusammenhang mit der Auswertung eines Experimentes steht das Abgleichen der Untersuchungsdaten mit den vorangehenden Hypothesen (Walpuski, 2006). Dabei müssen die gewonnenen Ergebnisse zu Beginn reflektiert werden, um zu entscheiden, „ob die Ausgangshypothese beibehalten oder verworfen wird bzw. ob weitere Daten zur Prüfung der Hypothese gesammelt werden müssen" (Walpuski, 2006, S. 24). Wird ohne Hypothesen experimentiert, so kann der Rückbezug auf die ausgehende Problem- oder Fragestellung ebenfalls als Ergebnisreflexion angesehen werden. Die Ergebnisse der Untersuchung müssen somit von den SuS interpretiert werden. Dabei wird die Interpretation für Folgendes genutzt: • Beantwortung der Frage- und/oder Problemstellung, welche dem Experimentierprozess vorangeht • Falsifizierung bzw. Verifizierung der Hypothese • Heranziehen der gewonnenen Daten aus dem Experiment zum Aufstellen einer Hypothese	
Code	**Ausprägung**
0	Keine inhaltliche Beschäftigung mit der Thematisierung der Interpretation einer Untersuchung.
1	SuS sollen die Untersuchungsdaten und deren Interpretation auf mindestens einen der oben genannten Aspekte beziehen.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: Walpuski (2006); Berlin (2012)* • *Operationalisierung: modifiziert nach Stiller (2015)*	
Hinweise: • Sind entsprechende Experimentierphasen stark geöffnet, so muss eine mögliche Ergebnisreflexion in den Beschreibungen thematisiert sein. Ist dies der Fall, so kann hier „1" kodiert werden, andernfalls wird „0" kodiert. • Die Schlussfolgerungen und Ergebnisse müssen einen Bezug zur vorliegenden Problem-/Fragestellung oder Hypothese aufweisen.	

7.5. Kontrollstrategien

Erkenntnisinteresse: Wie viele Kontroll- oder andere Strategien werden implizit oder explizit in den Experimentierprozess eingeplant?

Grundregel: Disjunkte Zuweisung in **eine** der vier Ausprägungen.

Beschreibung	
Nach Schwichow und Nehring (2018) können Experimente in den Naturwissenschaften zur empirischen Untersuchung von kausalen Zusammenhängen dienen. In Experimenten werden zwei Bedingungen miteinander verglichen, die sich lediglich in einer unabhängigen Variablen unterscheiden. „Veränderungen in der Ausprägung der abhängigen Variablen können bei Experimenten daher eindeutig auf die Manipulation der unabhängigen Variablen zurückgeführt werden. [...] Das Ausschließen bzw. die Kontrolle alternativer Ursache-Wirkungs-Beziehungen in Experimenten wird auch als Variablenkontrolle bzw. Variablenkontrollstrategie (VKS) bezeichnet" (Schwichow & Nehring, 2018, S. 219). Nach Streller, Bolte und Dietz (2019) ist ein weiterer wesentlicher Bestandteil von wissenschaftlichen Experimenten, „dass sie wiederholbar und die Ergebnisse reproduzierbar sein müssen; d. h., dass man bei identischen Versuchsbedingungen (möglichst) gleiche Ergebnisse erhalten müsste" (Streller et al., 2019, S. 66). Dies kann im schulischen Rahmen auch dadurch gegeben sein, wenn mehrere Gruppen das gleiche Experiment durchführen und am Ende die Daten verglichen werden. Zudem werden Ergebnisse des Experimentes als Teil der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung durch Kontrollexperimente abgesichert. Als Kontrollexperiment wird die negative oder positive Blindprobe bezeichnet (Streller et al., 2019). Wichtige Kontrollstrategien beim Experimentieren sind: • Variablenkontrolle • Wiederholung der Experimente (Reproduzierbarkeit der Daten) • Kontrollexperimente	
Code	**Ausprägung**
0	Für den Experimentierprozess sind **keine** der obigen Kontrollstrategien gepant.
1	**Mindestens eine** der beschriebenen Kontrollstrategien ist **impliziter** Bestandteil des Experimentierprozesses.
2	**Eine** der oben genannten Strategien wird **explizit** erwähnt. Das heißt in den Beschreibungen oder den ausformulierten Arbeitsmaterialien wird die Strategie oder deren Einsatz erwähnt.
3	Mindestens **zwei** der oben genannten Strategien werden **explizit** erwähnt. Das heißt in den Beschreibungen oder den ausformulierten Arbeitsmaterialien wird die Strategie oder deren Einsatz erwähnt.
Anmerkungen: • *Kategorienherkunft: Schwichow und Nehring (2018); Streller et al. (2019)* • *Operationalisierung: eigene Entwicklung*	
Hinweis: Zur „Wiederholung der Experimente" zählt auch folgender Fall: Mehrere Experimentier-Gruppen führen gleiche oder vergleichbare Experimente durch und vergleichen die Ergebnisse um Aussagen über die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse treffen zu können.	

Literaturverzeichnis

Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2017). Scaffolding beim Forschenden Lernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 23* (1), 21–37.

Börlin, J. (2012). *Das Experiment als Lerngelegenheit. Vom interkulturellen Vergleich des Physikunterrichts zu Merkmalen seiner Qualität* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 132). Zugl.: Basel, Univ., Diss., 2012. Berlin: Logos-Verl.

Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Mit 87 Tabellen* (Springer-Lehrbuch : Bachelor, Master, 4., überarb. Aufl.). Heidelberg: Springer.

Chalmers, A. F. & Bergemann, N. (Hrsg.). (2007). *Wege der Wissenschaft. Einführung in die Wissenschaftstheorie* (6., verbesserte Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-49491-1

Emden, M. & Koenen, J. (2016). Hilfekarten als Lernimpulse. In J. Koenen, M. Emden & E. Sumfleth (Hrsg.), *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung* (Ganz In - Materialien für die Praxis, S. 25–31). Münster: Waxmann.

Engeln, K. (2004). *Schülerlabors: Authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken*. Berlin: Logos.

Hänze, M., Schmidt-Weigand, F. & Stäudel, L. (2010). Gestufte Lernhilfen. In S. Boller & R. Lau (Hrsg.), *Innere Differenzierung in der Sekundarstufe II: Ein Praxishandbuch für Lehrerinnen und Lehrer der Sekundarstufe II* (S. 63–73). Weinheim: Beltz.

Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education. Foundations for the twenty-first century. *Science Education, 88* (1), 28–54.

Kattmann, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (Springer-Lehrbuch, S. 93–104). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Kiel, E. & Syring, M. (2018). Differenzierung. In E. Kiel (Hrsg.), *Unterricht sehen, analysieren, gestalten* (utb-studi-e-book, Bd. 3090, 3., überarbeitete Auflage, S. 63–92). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.

Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual Space Search During Scientific Reasoning. *Cognitive Science, 12* (1), 1–48.

Kleickmann, T. (2012). *Kognitiv aktivieren und inhaltlich strukturieren im naturwissenschaftlichen Sachunterricht*. Kiel: IPN Leibniz-Institut f. d. Pädagogik d. Naturwissenschaften an d. Universität Kiel.

Kliebisch, U. W. & Meloefski, R. (2006). *LehrerSein. Pädagogik für die Praxis* (2., unveränd. Aufl.). Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.

Koenen, J. (2016). Gestaltung von Experimentiersituationen - Wahl verschiedener Öffnungsgrade. In J. Koenen, M. Emden & E. Sumfleth (Hrsg.), *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung* (Ganz In - Materialien für die Praxis, S. 19–24). Münster: Waxmann.

Koenen, J., Emden, M. & Sumfleth, E. (Hrsg.). (2016). *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung* (Ganz In - Materialien für die Praxis). Münster: Waxmann.

Krause, U.-M. & Stark, R. (2006). Vorwissen aktivieren. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 38–49). Göttingen: Hogrefe.

Künsting, J., Thillmann, H., Wirth, J., Fischer, H. E. & Leutner, D. (2008). Strategisches Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht, 1*, 1–15.

Maiseyenka, V. (2014). *Modellbasiertes Experimentieren im Unterricht: Praxistauglichkeit und Lernwirkungen:* Logos Verlag.

Marschner, J. (2011). *Adaptives Feedback zur Unterstützung des selbstregulierten Lernens durch Experimentieren*. Dissertation. Universität Duisburg-Essen, Duisburg-Essen. Zugriff am 19.12.2018.

Maurer, C. & Rincke, K. (2013). Zielgerichtetes Experimentieren. In S. Bernholt (Hrsg.), *Inquiry-based Learning - Forschendes Lernen* (Bd. 33, S. 119–121). Kiel: IPN-Verlag.

Millar, R. (2009). *Analysing practical activities to assess and improve effectiveness: The Practical Activity Analysis Inventory (PAAI)*. York: Centre for Innovation and Research in Science Education, University of York. Verfügbar unter https://www.rsc.org/cpd/teachers/content/filerepository/frg/pdf/ResearchbyMillar.pdf

Priemer, B. (2011). Was ist das Offene beim offenen Experimentieren? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 17*, 315–337.

Schwichow, M. & Nehring, A. (2018). Variablenkontrolle beim Experimentieren in Biologie, Chemie und Physik: Höhere Kompetenzausprägungen bei der Anwendung der Variablenkontrollstrategie durch höheres Fachwissen? Empirische Belege aus zwei Studien. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 24* (1), 217–233.

Stiller, J. (2015). *Scientific Inquiry im Chemieunterricht - Eine Videoanalyse zur Umsetzung von Erkenntnisgewinnungsprozessen im internationalen und schulstufenübergreifenden Vergleich*. Dissertation. Humboldt-Universität, Berlin. Zugriff am 30.11.2018.

Streller, S., Bolte, C. & Dietz, D. (2019). *Chemiedidaktik an Fallbeispielen. Anregungen für die Unterrichtspraxis* (Lehrbuch).

Taber, K. S. (2001). Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. *Chem. Educ. Res. Pract., 2* (2), 123–158.

Tesch, M. (2005). *Das Experiment im Physikunterricht. Didaktische Konzepte und Ergebnisse einer Videostudie* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 42). Zugl.: Kiel, Univ., Diss., 2005. Berlin: Logos-Verl.

Vogelsang, C. & Riese, J. (2017). Wann ist eine Unterrichtsplanung "gut"? Planungsperformanz in Praxisratgebern zur Unterrichtsplanung. In K. Zierer & S. Wernke (Hrsg.), *Die Unterrichtsplanung: Ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?! Status Quo und Perspektiven aus Sicht der empirischen Forschung*. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.

Walpuski, M. (2006). *Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback. Eine empirische Studie* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 49). Zugl.: Duisburg-Essen, Univ., Diss., 2006. Berlin: Logos-Verl.

Weingarten, J. (2019). *Wie planen angehende Lehrkräfte ihren Unterricht? Empirische Analysen zur kompetenzorientierten Gestaltung von Lernangeboten* (Internationale Hochschulschriften).

Wirth, J., Thillmann, H., Künsting, 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,* 361–375.

Zierer, K., Werner, J. & Wernke, S. (2015). Besser planen? Mit Modell! Empirisch basierte Überlegungen zur Entwicklung eines Planungskompetenzmodells. *Die Deutsche Schule, 107,* 375–395.

10.7 Offene Antworten aus der Evaluation der Pilotstudie

Tabelle 10-1: Anmerkungen

Person	Offene Anmerkungen zur Planungshilfe
1	Schien nicht wichtig, bzw. wirklich hilfreich zu sein War nicht so präsent im Kopf
2	Die Strukturierungshilfe zur Konzeption war sehr nützlich!
3	Ich habe sie zum Ende hin nicht mehr gebracht, anfangs oft vergessen sie zu verwenden
4	Einerseits zu umfangreich, andererseits nicht immer klar, was bei einzelnen Phasen gemeint ist.
5	Teilweise unklar, was unter den einzelnen Punkten gemeint ist.
6	Gliederung nicht sehr hilfreich bzw. zu kompliziert Ich habe hauptsächlich mit der Darstellung in den Theoriefolien gearbeitet, weil da nacheinander auf die einzelnen Aspekte eingegangen wurde und nicht alles auf einem Blatt war (Gliederung in Threoriefolien war wesentlich übersichtlicher)
7	Ich fand, dass die Theorie-Powerpoint-Folien besser/hilfreicher waren. Es gab kaum Zusammenhang zwischen der Strukturierungshilfe und der Protokollvorlage, weswegen ich mich lieber an das Protokoll gehalten habe.
9	Die Strukturierungshilfe war in dem Sinn sehr hilfreich, wenn man keine Erfahrung damit hat, wie so ein Unterrichtskonzept/Protokoll auszusehen hat.
10	Anfang habe ich sie schon genutzt, bei den späteren Experimenten jedoch nicht mehr, da sie nicht meiner zeitlichen Arbeitsweise entspricht. Ein paar mehr praktische Aspekte wären hilfreich, da sehr abstrakt und daher schwierig auf konkrete Stunden anzuwenden.
12	Ich habe eher die Theoriefolien verwendet
13	Überschneidung zws. den Phasen und Strategie/Methode
16	Die Theoriefolien waren ausführlicher

Tabelle 10-2: Anmerkungen zur Semianrkonzeption

Person	Offene Anmerkungen zur Seminarkonzeption
1	Besonders anfangs war es sehr unorganisiert und keiner wusste eigentlich richtig, was wir machen. Persönlich find ich die Feedbackbögen nicht aussagekräftig, am meisten haben mich die frei formulierten Kritiken beeinflusst. Vielleicht wär ein Gespräch nach der Durchführung sinnvoller…?
2	Problem bis heute: Offenheit in chemischen Sachverhalte = sinnvoll? Gefahren? Zielführend? Lernförderlich?
5	Teilweise etwas unklar, was man genau machen muss (wurde aber durch die ToDo-Liste besser) Sehr aufwendig mit den ganzen Protokollen Insgesamt sehr nützlich
8	Für die Protokolle an sich war, find ich, zu wenig Zeit. Ich hätte die Protokolle gerne ausführlicher gestaltet. Hintenraus ist viel Zeit, aber nur für die formale Korrektur der Protokolle.
10	Am Anfang wären ein paar mehr praktische Beispiele hilfreich, da die ersten Experimente sehr schwierig zu planen waren. Zudem wäre ein abschließendes Feedback zu den Ausarbeitungen wünschenswert.
13	Mir fehlte die Variation beim offenen Experimentieren
14	Liste mit konkreten Experimenten sollte gleich zu Beginn d. Semesters von jedem erstellt u. abgegeben werden. Beim Vergleich können so „Doppelbelegungen“ verhindert werden. Außerdem kann die Wahl d. Themenbereichs (Lernbereichs) auf Eignung geprüft werden

10.8 Statistiken

Zunächst werden in Abbildung 10-1 und Abbildung 10-2 die Statistiken zur Stichprobenplanung berichtet. In Tabelle 10-3 werden die Ergebnisse des Shapiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung für die Hauptstudie berichtet. In Abbildung 10-3 bis Abbildung 10-17 sind die zugehörigen Quartil-Quartil-Diagramme (QQ-Plots) dargestellt. In Abbildung 10-18 bis Abbildung 10-35 sind die Statistiken zur Reliabilitätsanalyse und Itemstatistiken der verwendeten Instrumente der Hauptstudie zu finden. Die im Rahmen der Hauptstudie berechneten parametrischen und nicht-parametrischen Tests zum Vergleich von Mittelwerten und die zugehörigen Effektstärkemaße sind in Abbildung 10-36 bis Abbildung 10-46 dargestellt. Die Ergebnisse der berechneten Korrelationen und gemischten lineare Modelle sind in Abbildung 10-47 bis Abbildung 10-53 angegeben.

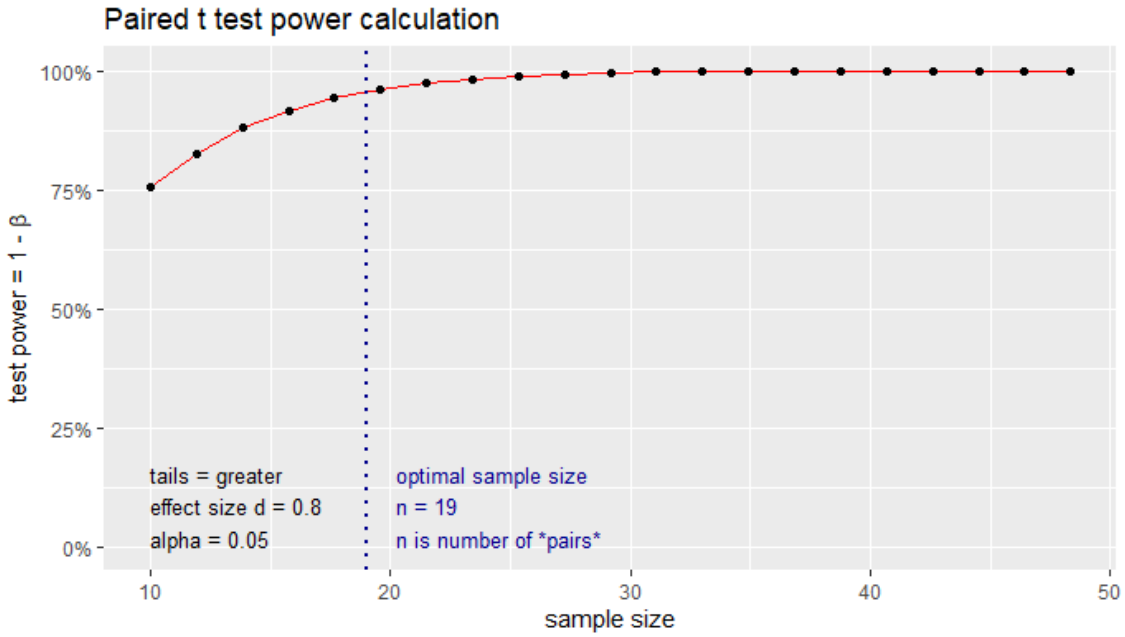


Abbildung 10-1: Stichprobenplanung – Graphisch

```
Effektstärke d = 0.8

     Paired t test power calculation

              n = 18.35834
              d = 0.8
      sig.level = 0.05
          power = 0.95
    alternative = greater

NOTE: n is number of *pairs*
```

Abbildung 10-2: Stichprobenplanung – Kennwerte

Tabelle 10-3: Ergebnisse Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung – Hauptstudie

Testinstrument und Messzeitpunkt	Ergebnisse Shapiro-Wilk-Test
Fachspezifische Überzeugungen Pre	$W = 0.957$, $p = 0.243$, n.s.
Zielorientierungen Pre – Post	$W = 0.959$, $p = .289$, n.s.
Experimentell-fachdidaktisches Wissen Pre – Post	$W = 0.954$, $p = .197$, n.s.
Experimentell-fachdidaktisches Wissen Pre – Follow-Up	$W = 0.939$, $p = .173$, n.s.
Experimentell-fachdidaktisches Wissen Post – Follow-Up	$W = 0.948$, $p = .260$, n.s.
Experimentell-fachdidaktisches Wissen Pre (N = 24)	$W = 0.986$, $p = .972$, n.s.
Experimentell-fachdidaktisches Wissen Post (N = 24)	$W = 0.960$, $p = .431$, n.s.
Selbstwirksamkeitserwartungen Gesamtskala Pre – Post	W = 0.96984, $p = .515$, n.s.
Selbstwirksamkeitserwartungen Subskala Durchführung von Experimenten Pre – Post	$W = 0.951$, $p = .169$, n.s.
Selbstwirksamkeitserwartungen Subskala Planung von Experimenten Pre – Post	$W = 0.980$, $p = .808$, n.s.
Experimentelle Planungskompetenz Pre – Post	$W = 0.913$, $p < .05$
Experimentelle Planungskompetenz Pre – Follow-Up	$W = 0.973$, $p = .788$, n.s.
Experimentelle Planungskompetenz Post – Follow-Up	$W = 0.962$, $p = .558$, n.s.
Experimentelle Planungskompetenz Pre	$W = 0.967$, $p = .599$, n.s.
Experimentelle Planungskompetenz Post	$W = 0.90099$, $p < .05$
Entwürfe MZP X	$W = 0.899$, $p < .05$
Entwürfe MZP Y	$W = 0.917$, $p < .05$
Entwürfe MZP Z	$W = 0.919$, $p = .055$, n.s.

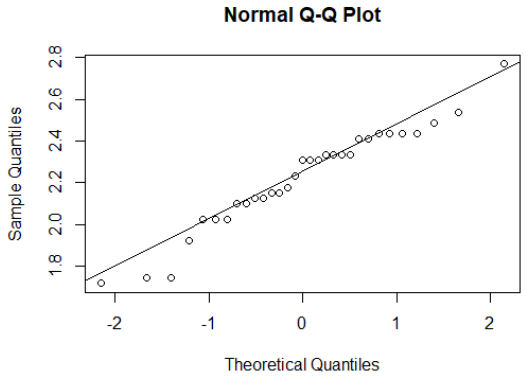


Abbildung 10-3: QQ-Plot Fachspezifische Überzeugungen Pre – Hauptstudie

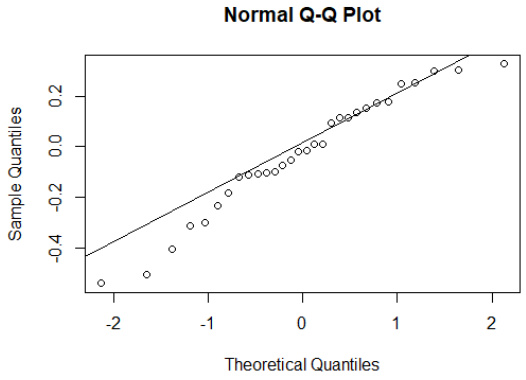


Abbildung 10-4: QQ-Plot Zielorientierungen Pre-Post – Hauptstudie

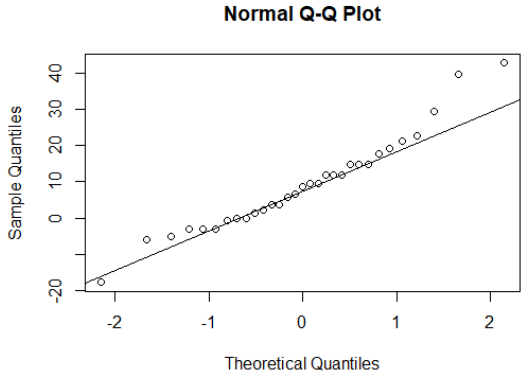


Abbildung 10-5: QQ-Plot experimentell-fachdidaktisches Wissen Pre-Post – Hauptstudie

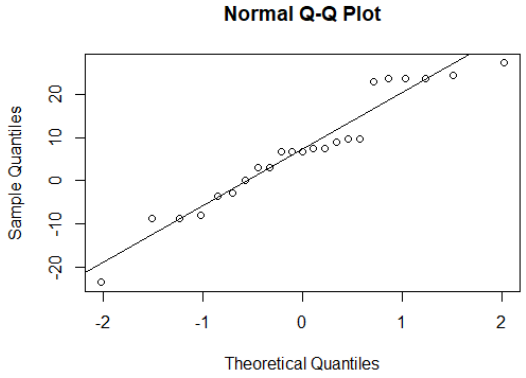


Abbildung 10-6: QQ-Plot experimentell-fachdidaktisches Wissen Pre-Follow-Up – Hauptstudie

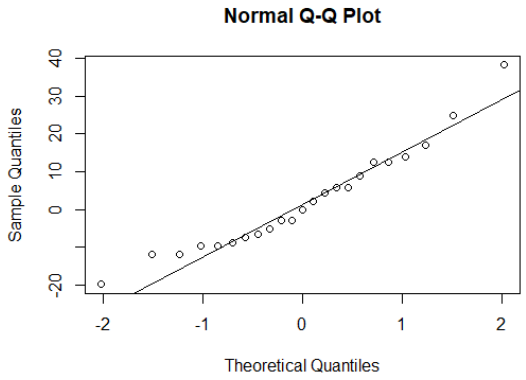


Abbildung 10-7: QQ-Plot experimentell-fachdidaktisches Wissen Post-Follow-Up – Hauptstudie

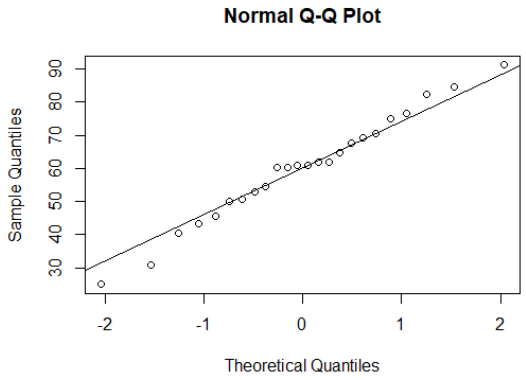


Abbildung 10-8: QQ-Plot experimentell-fachdidaktisches Wissen Pre – Hauptstudie

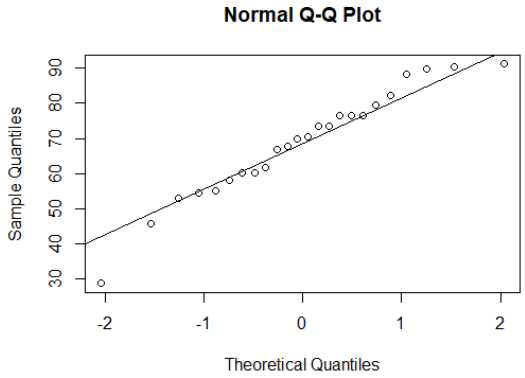


Abbildung 10-9: QQ-Plot experimentell-fachdidaktisches Wissen Post – Hauptstudie

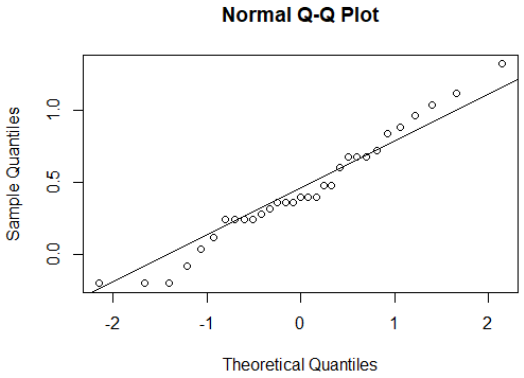


Abbildung 10-10: QQ-Plot Selbstwirksamkeitserwartungen Gesamtskala Pre-Post – Hauptstudie

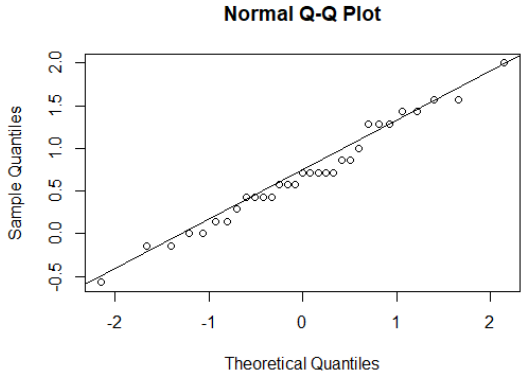


Abbildung 10-11: QQ-Plot Selbstwirksamkeitserwartungen Subskala Planung von Experimenten Pre-Post – Hauptstudie

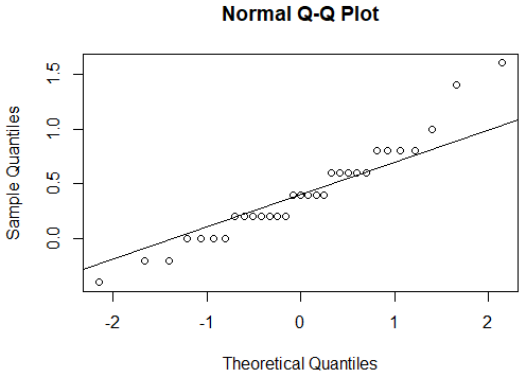


Abbildung 10-12: QQ-Plot Selbstwirksamkeitserwartungen Subskala Durchführung von Experimenten Pre-Post – Hauptstudie

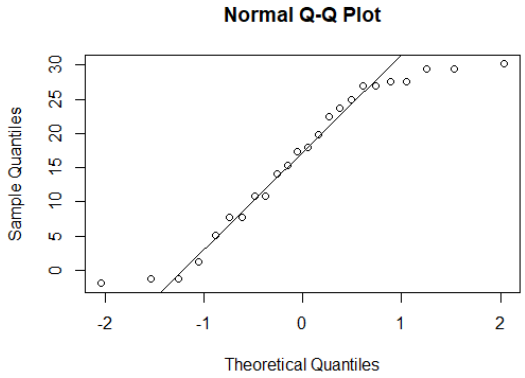


Abbildung 10-13: QQ-Plot experimentelle Planungskompetenz Pre-Post – Hauptstudie

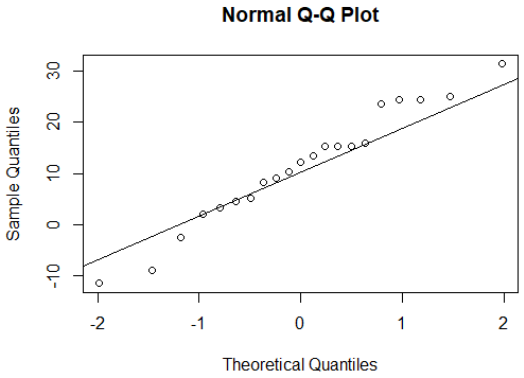


Abbildung 10-14: QQ-Plot experimentelle Planungskompetenz Pre-Follow-Up – Hauptstudie

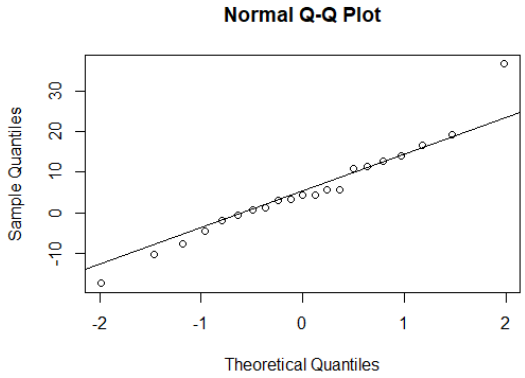


Abbildung 10-15: QQ-Plot experimentelle Planungskompetenz Post-Follow-Up – Hauptstudie

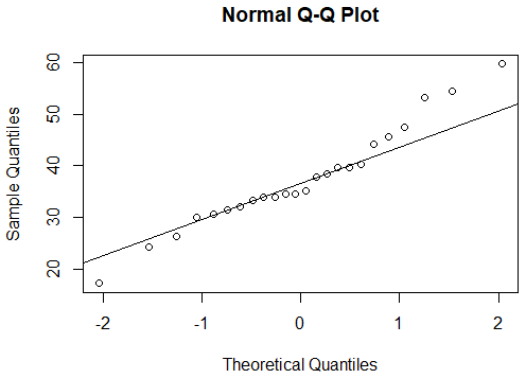


Abbildung 10-16:QQ-Plot experimentelle Planungskompetenz Pre – Hauptstudie

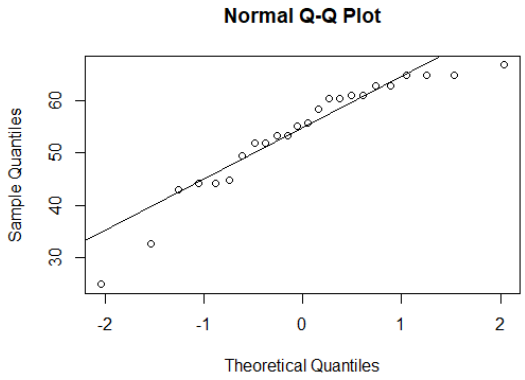


Abbildung 10-17: QQ-Plot experimentelle Planungskompetenz Post – Hauptstudie

```
Reliability analysis
Call: alpha(x = fu.haupt[grep("x", names(fu.haupt))])

  raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N   ase mean   sd median_r
      0.75      0.76     0.9     0.076 3.2 0.064  3.8 0.24    0.084

 lower alpha upper     95% confidence boundaries
0.63 0.75 0.87

 Reliability if an item is dropped:
              raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N var.r med.r
xIII_Item1         0.74      0.76    0.91     0.075 3.1 0.039 0.080
xIII_Item2_r       0.75      0.76    0.92     0.076 3.1 0.040 0.084
xIII_Item3         0.75      0.76    0.91     0.077 3.2 0.040 0.086
xIII_Item4_r       0.74      0.75    0.91     0.075 3.1 0.040 0.083
xIII_Item5         0.75      0.76    0.91     0.076 3.1 0.040 0.085
xIII_Item6_r       0.73      0.74    0.90     0.071 2.9 0.039 0.075
xIII_Item7_r       0.74      0.75    0.91     0.075 3.1 0.039 0.085
xIII_Item8         0.75      0.76    0.91     0.075 3.1 0.039 0.083
xIII_Item9_r       0.75      0.76    0.93     0.078 3.2 0.039 0.085
xIII_Item10_r      0.74      0.75    0.91     0.074 3.0 0.040 0.079
xIII_Item11        0.74      0.75    0.91     0.073 3.0 0.039 0.080
xIII_Item12        0.75      0.76    0.92     0.076 3.1 0.039 0.085
xIII_Item13_r      0.75      0.76    0.91     0.076 3.1 0.040 0.083
xIII_Item14_r      0.74      0.76    0.91     0.075 3.1 0.040 0.083
xIII_Item15_r      0.74      0.76    0.91     0.076 3.1 0.039 0.085
xIII_Item16        0.74      0.76    0.91     0.075 3.1 0.039 0.083
xIII_Item17        0.75      0.76    0.92     0.077 3.2 0.040 0.088
xIII_Item18        0.74      0.75    0.92     0.074 3.1 0.039 0.083
xIII_Item19        0.74      0.75    0.91     0.075 3.1 0.038 0.084
xIII_Item20        0.74      0.75    0.91     0.074 3.1 0.038 0.086
xIII_Item21_r      0.74      0.75    0.91     0.073 3.0 0.040 0.080
xIII_Item22        0.74      0.75    0.93     0.074 3.0 0.039 0.080
xIII_Item23        0.74      0.75    0.91     0.072 3.0 0.039 0.080
xIII_Item24        0.74      0.75    0.90     0.072 2.9 0.039 0.080
xIII_Item25        0.77      0.77    0.92     0.083 3.4 0.038 0.091
xIII_Item26        0.74      0.75    0.90     0.073 3.0 0.039 0.080
xIII_Item27        0.74      0.75    0.92     0.075 3.1 0.039 0.083
xIII_Item28        0.74      0.75    0.91     0.074 3.0 0.039 0.083
xIII_Item29_r      0.74      0.75    0.91     0.073 3.0 0.039 0.083
xIII_Item30_r      0.75      0.76    0.91     0.076 3.1 0.039 0.084
xIII_Item31_r      0.75      0.77    0.91     0.079 3.3 0.038 0.088
xIII_Item32_r      0.73      0.75    0.91     0.072 3.0 0.039 0.080
xIII_Item33_r      0.76      0.77    0.92     0.080 3.3 0.039 0.091
xIII_Item34_r      0.75      0.76    0.92     0.079 3.2 0.039 0.088
xIII_Item35        0.75      0.77    0.91     0.079 3.3 0.038 0.086
xIII_Item36        0.76      0.77    0.92     0.081 3.3 0.039 0.089
xIII_Item37_r      0.74      0.76    0.92     0.075 3.1 0.039 0.085
xIII_Item38        0.74      0.75    0.91     0.074 3.0 0.039 0.080
xIII_Item39        0.76      0.77    0.92     0.082 3.4 0.039 0.091
```

Abbildung 10-18: Reliabilitätsanalyse Fachspezifische Überzeugungen Gesamtskala – Hauptstudie

Item statistics

	n	raw.r	std.r	r.cor	r.drop	mean	sd
xIII_Item1	31	0.3555	0.3478	0.335	2.9e-01	4.0	0.68
xIII_Item2_r	31	0.3222	0.2861	0.273	2.3e-01	3.0	0.95
xIII_Item3	31	0.2612	0.2581	0.241	1.9e-01	4.0	0.75
xIII_Item4_r	31	0.4258	0.3533	0.342	3.0e-01	3.4	1.31
xIII_Item5	31	0.3185	0.3016	0.284	2.2e-01	3.5	1.03
xIII_Item6_r	31	0.5928	0.5973	0.590	5.4e-01	4.5	0.77
xIII_Item7_r	31	0.3428	0.3590	0.334	2.7e-01	4.4	0.76
xIII_Item8	31	0.3107	0.3322	0.293	2.3e-01	4.0	0.80
xIII_Item9_r	31	0.2436	0.1867	0.182	1.5e-01	4.1	0.88
xIII_Item10_r	31	0.4654	0.4305	0.412	3.8e-01	3.7	1.01
xIII_Item11	31	0.4108	0.4554	0.449	3.6e-01	4.5	0.57
xIII_Item12	31	0.2673	0.3013	0.286	1.9e-01	4.5	0.77
xIII_Item13_r	31	0.2841	0.3086	0.290	2.3e-01	3.4	0.50
xIII_Item14_r	31	0.3357	0.3411	0.319	2.6e-01	4.1	0.77
xIII_Item15_r	31	0.3254	0.3042	0.295	2.4e-01	2.6	0.88
xIII_Item16	31	0.3402	0.3354	0.319	2.7e-01	4.2	0.76
xIII_Item17	31	0.1725	0.2127	0.181	1.1e-01	4.0	0.63
xIII_Item18	31	0.3639	0.3835	0.383	3.0e-01	4.4	0.67
xIII_Item19	31	0.3201	0.3681	0.361	2.5e-01	4.4	0.67
xIII_Item20	31	0.3844	0.3901	0.372	3.2e-01	4.0	0.66
xIII_Item21_r	31	0.4507	0.4497	0.446	3.8e-01	3.5	0.77
xIII_Item22	31	0.3873	0.4069	0.409	3.4e-01	4.5	0.51
xIII_Item23	31	0.4988	0.5132	0.516	4.4e-01	3.7	0.74
xIII_Item24	31	0.5148	0.5215	0.489	4.5e-01	3.9	0.73
xIII_Item25	31	-0.0721	-0.0788	-0.112	-1.7e-01	3.7	0.98
xIII_Item26	31	0.4268	0.4475	0.428	3.7e-01	4.4	0.67
xIII_Item27	31	0.3302	0.3720	0.380	2.5e-01	3.7	0.77
xIII_Item28	31	0.4224	0.4216	0.409	3.6e-01	4.1	0.68
xIII_Item29_r	31	0.4879	0.4388	0.419	4.2e-01	3.4	0.85
xIII_Item30_r	31	0.3132	0.2932	0.277	2.2e-01	2.8	0.95
xIII_Item31_r	31	0.1375	0.1191	0.093	4.7e-02	2.7	0.86
xIII_Item32_r	31	0.5277	0.5054	0.511	4.6e-01	2.9	0.83
xIII_Item33_r	31	0.0362	0.0535	0.041	-4.5e-02	3.5	0.77
xIII_Item34_r	31	0.1655	0.1382	0.123	9.0e-02	2.9	0.72
xIII_Item35	31	0.0743	0.1269	0.048	-8.4e-18	4.2	0.70
xIII_Item36	31	-0.0073	0.0094	-0.016	-8.3e-02	3.6	0.72
xIII_Item37_r	31	0.3745	0.3423	0.344	3.0e-01	3.1	0.76
xIII_Item38	31	0.3970	0.4287	0.424	3.4e-01	4.1	0.65
xIII_Item39	31	-0.0960	-0.0697	-0.095	-1.6e-01	3.8	0.65

Abbildung 10-19: Itemstatistik Fachspezifische Überzeugungen Gesamtskala – Hauptstudie

```
Call: alpha(x = fu.haupt[grep("x", names(fu.haupt))])

  raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N   ase mean   sd median_r
      0.68      0.71    0.93       0.1 2.4 0.086  3.8 0.27      0.1

 lower alpha upper     95% confidence boundaries
0.51 0.68 0.84

 Reliability if an item is dropped:
          raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N alpha se var.r med.r
xItem11        0.65      0.68    0.91     0.096 2.1    0.093 0.048 0.098
xItem12        0.66      0.70    0.91     0.103 2.3    0.090 0.047 0.098
xItem13_r      0.66      0.70    0.92     0.104 2.3    0.090 0.049 0.095
xItem14_r      0.67      0.70    0.91     0.105 2.4    0.088 0.048 0.103
xItem15_r      0.68      0.71    0.92     0.108 2.4    0.086 0.048 0.105
xItem16        0.67      0.71    0.91     0.108 2.4    0.087 0.047 0.105
xItem17        0.66      0.70    0.92     0.104 2.3    0.089 0.050 0.106
xItem18        0.67      0.70    0.92     0.105 2.3    0.088 0.045 0.105
xItem19        0.66      0.70    0.91     0.102 2.3    0.089 0.044 0.103
xItem20        0.65      0.68    0.92     0.097 2.1    0.094 0.046 0.101
xItem21_r      0.66      0.70    0.91     0.104 2.3    0.090 0.050 0.098
xItem22        0.66      0.70    0.91     0.103 2.3    0.089 0.046 0.098
xItem23        0.66      0.69    0.91     0.102 2.3    0.091 0.048 0.098
xItem24        0.66      0.70    0.91     0.102 2.3    0.091 0.049 0.106
xItem25        0.70      0.72    0.91     0.114 2.6    0.080 0.046 0.114
xItem26        0.65      0.69    0.91     0.100 2.2    0.092 0.049 0.098
xItem27        0.65      0.69    0.91     0.098 2.2    0.093 0.046 0.098
xItem28        0.65      0.69    0.91     0.099 2.2    0.093 0.048 0.101
xItem29_r      0.66      0.70    0.91     0.104 2.3    0.090 0.049 0.103
xItem30_r      0.69      0.71    0.91     0.111 2.5    0.082 0.045 0.105
xItem31_r      0.70      0.73    0.92     0.117 2.6    0.080 0.044 0.110

 Item statistics
           n raw.r std.r r.cor  r.drop mean   sd
xItem11   31  0.53  0.57 0.556  0.4501  4.5 0.57
xItem12   31  0.39  0.41 0.396  0.2678  4.5 0.77
xItem13_r 31  0.38  0.38 0.349  0.3040  3.4 0.50
xItem14_r 31  0.35  0.35 0.336  0.2287  4.1 0.77
xItem15_r 31  0.31  0.30 0.269  0.1583  2.6 0.88
xItem16   31  0.31  0.29 0.278  0.1802  4.2 0.76
xItem17   31  0.36  0.38 0.357  0.2581  4.0 0.63
xItem18   31  0.34  0.37 0.366  0.2276  4.4 0.67
xItem19   31  0.38  0.42 0.424  0.2736  4.4 0.67
xItem20   31  0.55  0.56 0.549  0.4670  4.0 0.66
xItem21_r 31  0.40  0.40 0.377  0.2761  3.5 0.77
xItem22   31  0.37  0.40 0.388  0.2900  4.5 0.51
xItem23   31  0.44  0.44 0.434  0.3289  3.7 0.74
xItem24   31  0.45  0.43 0.416  0.3401  3.9 0.73
xItem25   31  0.18  0.14 0.125  0.0043  3.7 0.98
xItem26   31  0.48  0.49 0.483  0.3781  4.4 0.67
xItem27   31  0.50  0.52 0.516  0.3895  3.7 0.77
xItem28   31  0.52  0.50 0.498  0.4282  4.1 0.68
xItem29_r 31  0.43  0.38 0.365  0.2936  3.4 0.85
xItem30_r 31  0.25  0.21 0.205  0.0854  2.8 0.95
xItem31_r 31  0.10  0.08 0.053 -0.0506  2.7 0.86
```

Abbildung 10-20: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik – Fachspezifische Überzeugungen – Subskala Lehren von Chemie in der Schule – Hauptstudie

```
Reliability analysis
Call: alpha(x = fu.haupt[grep("x", names(fu.haupt))])

  raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r  S/N ase mean  sd median_r
      0.29      0.28     0.6     0.045 0.38 0.2  3.5 0.3    0.012

 lower alpha upper     95% confidence boundaries
-0.09 0.29 0.67

 Reliability if an item is dropped:
          raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r  S/N alpha se var.r  med.r
xItem32_r      0.15      0.15    0.44     0.025 0.18     0.23 0.074 -0.017
xItem33_r      0.25      0.22    0.52     0.038 0.28     0.21 0.072  0.041
xItem34_r      0.24      0.26    0.56     0.047 0.34     0.21 0.072 -0.017
xItem35        0.19      0.15    0.41     0.024 0.17     0.21 0.059 -0.017
xItem36        0.35      0.34    0.65     0.068 0.51     0.18 0.096  0.064
xItem37_r      0.27      0.27    0.56     0.050 0.37     0.20 0.075  0.064
xItem38        0.20      0.16    0.49     0.027 0.19     0.22 0.073 -0.017
xItem39        0.39      0.39    0.62     0.084 0.64     0.17 0.084  0.041

 Item statistics
           n raw.r std.r   r.cor r.drop mean   sd
xItem32_r 31  0.58  0.54  0.5312  0.269  2.9 0.83
xItem33_r 31  0.44  0.45  0.3981  0.135  3.5 0.77
xItem34_r 31  0.44  0.40  0.2979  0.148  2.9 0.72
xItem35   31  0.51  0.55  0.5804  0.237  4.2 0.70
xItem36   31  0.26  0.26 -0.0044 -0.046  3.6 0.72
xItem37_r 31  0.41  0.38  0.2575  0.103  3.1 0.76
xItem38   31  0.49  0.53  0.4932  0.239  4.1 0.65
xItem39   31  0.12  0.15 -0.0398 -0.154  3.8 0.65
```

Abbildung 10-21: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik – Fachspezifische Überzeugungen – Subskala Lernen von Chemie in der Schule – Hauptstudie

```
Reliability analysis
Call: alpha(x = fu.haupt[grep("x", names(fu.haupt))])

  raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N ase mean   sd median_r
      0.61      0.63    0.72      0.15 1.7 0.1  3.9 0.43     0.14

 lower alpha upper     95% confidence boundaries
0.4 0.61 0.81

 Reliability if an item is dropped:
          raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N alpha se var.r med.r
xItem1         0.58      0.59    0.68      0.14 1.5    0.114 0.020  0.13
xItem2_r       0.57      0.60    0.70      0.14 1.5    0.116 0.022  0.14
xItem3         0.59      0.61    0.68      0.15 1.5    0.110 0.017  0.13
xItem4_r       0.60      0.62    0.68      0.15 1.6    0.108 0.017  0.14
xItem5         0.63      0.64    0.71      0.17 1.8    0.099 0.016  0.15
xItem6_r       0.54      0.57    0.63      0.13 1.3    0.123 0.019  0.12
xItem7_r       0.61      0.63    0.68      0.16 1.7    0.105 0.017  0.14
xItem8         0.59      0.61    0.68      0.15 1.6    0.110 0.019  0.15
xItem9_r       0.55      0.58    0.66      0.13 1.4    0.120 0.021  0.12
xItem10_r      0.58      0.61    0.69      0.15 1.6    0.115 0.017  0.14

 Item statistics
           n raw.r std.r r.cor r.drop mean   sd
xItem1    31  0.48  0.54  0.47   0.34  4.0 0.68
xItem2_r  31  0.52  0.50  0.40   0.33  3.0 0.95
xItem3    31  0.43  0.48  0.42   0.27  4.0 0.75
xItem4_r  31  0.53  0.43  0.36   0.26  3.4 1.31
xItem5    31  0.35  0.33  0.22   0.11  3.5 1.03
xItem6_r  31  0.62  0.63  0.62   0.49  4.5 0.77
xItem7_r  31  0.32  0.39  0.31   0.15  4.4 0.76
xItem8    31  0.43  0.47  0.39   0.26  4.0 0.80
xItem9_r  31  0.58  0.57  0.52   0.41  4.1 0.88
xItem10_r 31  0.52  0.47  0.40   0.31  3.7 1.01
```

Abbildung 10-22: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik – Fachspezifische Überzeugungen – Subskala Chemie als Wissenschaft – Hauptstudie

```
Reliability analysis
Call: alpha(x = zoH[, grep("y", names(zoH))])

  raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N  ase mean   sd median_r
      0.53      0.55    0.82      0.07 1.2 0.12  3.9 0.28    0.061

 lower alpha upper     95% confidence boundaries
0.29 0.53 0.77

 Reliability if an item is dropped:
            raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r  S/N alpha se var.r med.r
yII_Item1        0.56      0.57    0.83     0.081 1.32     0.12 0.065 0.080
yII_Item2        0.58      0.59    0.82     0.087 1.43     0.11 0.058 0.085
yII_Item3        0.51      0.51    0.80     0.066 1.06     0.13 0.067 0.038
yII_Item4        0.51      0.50    0.78     0.063 1.00     0.13 0.060 0.037
yII_Item5        0.53      0.53    0.80     0.069 1.11     0.12 0.062 0.057
yII_Item6        0.54      0.55    0.81     0.075 1.22     0.12 0.061 0.064
yII_Item7_r      0.53      0.52    0.80     0.068 1.09     0.12 0.063 0.038
yII_Item8        0.53      0.54    0.82     0.073 1.18     0.12 0.067 0.064
yII_Item9        0.50      0.50    0.79     0.062 0.99     0.13 0.066 0.057
yII_Item10_r     0.50      0.53    0.80     0.070 1.13     0.13 0.061 0.057
yII_Item11_r     0.45      0.48    0.78     0.058 0.93     0.15 0.064 0.037
yII_Item12_r     0.49      0.51    0.78     0.065 1.04     0.14 0.061 0.064
yII_Item13_r     0.50      0.52    0.79     0.068 1.10     0.13 0.066 0.057
yII_Item14_r     0.49      0.52    0.80     0.067 1.07     0.14 0.068 0.038
yII_Item15_r     0.51      0.54    0.81     0.074 1.19     0.13 0.061 0.080
yII_Item16_r     0.51      0.55    0.79     0.075 1.21     0.13 0.056 0.080

 Item statistics
              n raw.r std.r   r.cor r.drop mean   sd
yII_Item1    31 0.027 0.159  0.0732 -0.098  4.6 0.56
yII_Item2    31 0.066 0.043 -0.0025 -0.130  3.4 0.89
yII_Item3    31 0.359 0.435  0.3971  0.210  4.4 0.72
yII_Item4    31 0.355 0.493  0.4902  0.252  4.6 0.50
yII_Item5    31 0.265 0.374  0.3519  0.129  4.5 0.63
yII_Item6    31 0.205 0.258  0.2205  0.040  4.1 0.75
yII_Item7_r  31 0.338 0.399  0.3678  0.127  3.1 0.98
yII_Item8    31 0.224 0.303  0.2194  0.101  4.6 0.56
yII_Item9    31 0.430 0.511  0.4824  0.307  4.5 0.63
yII_Item10_r 31 0.427 0.356  0.3274  0.245  4.1 0.89
yII_Item11_r 31 0.629 0.575  0.5791  0.481  3.2 0.91
yII_Item12_r 31 0.492 0.450  0.4429  0.371  3.9 0.65
yII_Item13_r 31 0.437 0.391  0.3606  0.280  4.1 0.79
yII_Item14_r 31 0.472 0.418  0.3728  0.299  3.8 0.88
yII_Item15_r 31 0.443 0.289  0.2467  0.216  2.7 1.10
yII_Item16_r 31 0.425 0.276  0.2635  0.216  3.3 1.01
```

Abbildung 10-23: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik – Zielorientierungen – Hauptstudie

```
Reliability analysis
Call: psych::alpha(x = Gesamt[, grep("y", names(Gesamt))])

  raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N   ase mean   sd median_r
      0.78      0.82    0.96      0.11 4.5 0.057 0.67 0.14      0.1

 lower alpha upper     95% confidence boundaries
0.67 0.78 0.89

 Reliability if an item is dropped:
           raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N var.r med.r
yItem1_12       0.78      0.81    0.97      0.11 4.4 0.035  0.11
yItem1_23       0.77      0.81    0.97      0.11 4.2 0.035  0.10
yItem1_24       0.78      0.82    0.97      0.11 4.4 0.035  0.11
yItem2_12       0.77      0.81    0.97      0.11 4.4 0.037  0.10
yItem4_14       0.77      0.81    0.97      0.11 4.4 0.037  0.11
yItem4_23       0.77      0.81    0.97      0.11 4.4 0.036  0.10
yItem4_24       0.78      0.82    0.97      0.11 4.4 0.035  0.10
yItem5_13       0.78      0.82    0.97      0.11 4.5 0.036  0.11
yItem6          0.79      0.82    0.96      0.11 4.4 0.036  0.10
yItem8_13       0.77      0.82    0.97      0.11 4.5 0.036  0.11
yItem9_12       0.78      0.82    0.96      0.11 4.5 0.035  0.11
yItem9_14       0.77      0.82    0.96      0.11 4.5 0.035  0.12
yItem11_13      0.77      0.81    0.97      0.11 4.2 0.036  0.10
yItem11_14      0.77      0.81    0.96      0.11 4.3 0.035  0.10
yItem11_23      0.77      0.81    0.96      0.11 4.4 0.036  0.10
yItem11_24      0.78      0.82    0.97      0.11 4.5 0.036  0.11
yItem12_34      0.78      0.82    0.97      0.11 4.5 0.036  0.12
yItem13_12      0.77      0.81    0.96      0.11 4.3 0.036  0.10
yItem13_13      0.77      0.81    0.97      0.11 4.3 0.036  0.10
yItem13_34      0.78      0.82    0.97      0.11 4.4 0.035  0.10
yItem14_13      0.77      0.81    0.97      0.11 4.2 0.035  0.10
yItem14_14      0.77      0.81    0.97      0.11 4.2 0.035  0.10
yItem15_12      0.77      0.81    0.97      0.11 4.3 0.035  0.11
yItem15_13      0.78      0.82    0.96      0.11 4.5 0.035  0.11
yItem15_14      0.76      0.80    0.96      0.11 4.1 0.035  0.10
yItem15_34      0.78      0.82    0.97      0.11 4.5 0.035  0.12
yItem16_14      0.78      0.82    0.97      0.11 4.5 0.036  0.12
yItem16_23      0.78      0.82    0.97      0.11 4.5 0.036  0.11
yItem16_34      0.78      0.81    0.97      0.11 4.4 0.036  0.12
yItem17_13      0.78      0.82    0.97      0.11 4.5 0.036  0.12
yItem17_23      0.77      0.81    0.97      0.11 4.3 0.036  0.10
yItem18_12      0.77      0.82    0.97      0.11 4.4 0.037  0.10
yItem19_2       0.78      0.81    0.97      0.11 4.4 0.035  0.11
yItem19_5       0.78      0.82    0.97      0.11 4.4 0.036  0.10
yItem19_6       0.78      0.82    0.98      0.11 4.5 0.036  0.12
yItem19_7       0.78      0.82    0.97      0.11 4.5 0.036  0.12
```

Abbildung 10-24: Reliabilitätsanalyse experimentell-fachdidaktisches Wissen – bereinigt nach Trennschärfen größer .15 – Hauptstudie

Item statistics

	n	raw.r	std.r	r.cor	r.drop	mean	sd
yItem1_12	31	0.32	0.40	0.41	0.27	0.94	0.250
yItem1_23	31	0.49	0.54	0.53	0.42	0.71	0.461
yItem1_24	31	0.30	0.33	0.32	0.24	0.87	0.341
yItem2_12	31	0.42	0.40	0.40	0.36	0.16	0.374
yItem4_14	31	0.39	0.37	0.36	0.30	0.52	0.508
yItem4_23	31	0.37	0.38	0.38	0.31	0.90	0.301
yItem4_24	31	0.28	0.32	0.31	0.22	0.90	0.301
yItem5_13	31	0.30	0.30	0.27	0.21	0.65	0.486
yItem6	31	0.42	0.31	0.31	0.24	0.97	1.016
yItem8_13	31	0.38	0.31	0.28	0.29	0.52	0.508
yItem9_12	31	0.29	0.24	0.24	0.22	0.81	0.402
yItem9_14	31	0.32	0.29	0.28	0.26	0.87	0.341
yItem11_13	31	0.51	0.53	0.53	0.45	0.81	0.402
yItem11_14	31	0.42	0.51	0.51	0.35	0.84	0.374
yItem11_23	31	0.39	0.40	0.39	0.32	0.84	0.374
yItem11_24	31	0.30	0.30	0.30	0.23	0.77	0.425
yItem12_34	31	0.31	0.29	0.28	0.22	0.55	0.506
yItem13_12	31	0.42	0.44	0.42	0.34	0.68	0.475
yItem13_13	31	0.42	0.42	0.42	0.36	0.87	0.341
yItem13_34	31	0.30	0.32	0.32	0.26	0.94	0.250
yItem14_13	31	0.52	0.56	0.56	0.49	0.97	0.180
yItem14_14	31	0.53	0.53	0.53	0.49	0.94	0.250
yItem15_12	31	0.46	0.49	0.48	0.40	0.84	0.374
yItem15_13	31	0.31	0.30	0.29	0.22	0.55	0.506
yItem15_14	31	0.62	0.65	0.65	0.56	0.77	0.425
yItem15_34	31	0.28	0.22	0.22	0.19	0.65	0.486
yItem16_14	31	0.24	0.27	0.25	0.15	0.68	0.475
yItem16_23	31	0.27	0.24	0.23	0.17	0.55	0.506
yItem16_34	31	0.33	0.37	0.36	0.25	0.65	0.486
yItem17_13	31	0.27	0.26	0.26	0.18	0.48	0.508
yItem17_23	31	0.47	0.44	0.44	0.40	0.77	0.425
yItem18_12	31	0.37	0.32	0.31	0.29	0.26	0.445
yItem19_2	31	0.33	0.38	0.37	0.31	0.19	0.106
yItem19_5	31	0.24	0.33	0.33	0.22	0.19	0.111
yItem19_6	31	0.23	0.23	0.23	0.22	0.23	0.062
yItem19_7	31	0.26	0.29	0.28	0.24	0.23	0.062

Abbildung 10-25: Itemstatistik experimentell-fachdidaktisches Wissen - bereinigt nach Trennschärfen größer .15 – Hauptstudie

```
Reliability analysis
  raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N   ase mean   sd median_r
      0.85      0.85    0.97      0.18 5.6 0.039  3.6 0.33     0.18

 lower alpha upper     95% confidence boundaries
0.77 0.85 0.92

 Reliability if an item is dropped:
             raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N alpha se var.r med.r
yIV_Item1         0.84      0.84    0.97      0.18 5.3    0.042 0.043  0.18
yIV_Item2         0.84      0.84    0.97      0.18 5.4    0.041 0.043  0.18
yIV_Item3         0.84      0.85    0.97      0.19 5.5    0.040 0.044  0.19
yIV_Item4         0.86      0.86    0.97      0.20 6.1    0.037 0.038  0.20
yIV_Item5         0.85      0.85    0.97      0.19 5.7    0.039 0.044  0.19
yIV_Item5_1       0.84      0.84    0.97      0.18 5.4    0.041 0.044  0.18
yIV_Item5_2_r     0.85      0.85    0.97      0.20 5.9    0.037 0.040  0.19
yIV_Item6         0.84      0.85    0.97      0.19 5.5    0.040 0.043  0.19
yIV_Item7         0.84      0.84    0.97      0.18 5.4    0.041 0.046  0.18
yIV_Item8         0.84      0.84    0.97      0.18 5.3    0.041 0.041  0.18
yIV_Item9         0.84      0.85    0.97      0.19 5.5    0.041 0.044  0.19
yIV_Item9_1       0.84      0.84    0.97      0.18 5.2    0.042 0.044  0.17
yIV_Item10        0.84      0.84    0.97      0.18 5.4    0.041 0.045  0.19
yIV_Item11        0.84      0.84    0.97      0.18 5.3    0.041 0.044  0.19
yIV_Item12        0.84      0.84    0.97      0.18 5.4    0.041 0.044  0.18
yIV_Item13        0.84      0.84    0.97      0.18 5.4    0.041 0.044  0.18
yIV_Item14        0.84      0.84    0.97      0.18 5.3    0.042 0.042  0.18
yIV_Item15        0.83      0.84    0.97      0.18 5.2    0.043 0.044  0.18
yIV_Item16        0.83      0.84    0.97      0.17 5.1    0.044 0.042  0.17
yIV_Item17        0.84      0.84    0.97      0.18 5.4    0.040 0.043  0.18
yIV_Item18        0.84      0.84    0.97      0.18 5.4    0.041 0.044  0.18
yIV_Item19        0.85      0.85    0.97      0.19 5.7    0.039 0.042  0.19
yIV_Item20        0.83      0.84    0.97      0.18 5.1    0.043 0.042  0.18
yIV_Item21        0.84      0.84    0.97      0.18 5.4    0.041 0.041  0.18
yIV_Item22        0.84      0.84    0.97      0.18 5.3    0.042 0.043  0.18
```

Abbildung 10-26: Reliabilitätsanalyse Selbstwirksamkeitserwartungen – Gesamtskala – Hauptstudie

```
 Item statistics
               n raw.r std.r r.cor r.drop mean   sd
yIV_Item1     31 0.574 0.558 0.558  0.516  3.6 0.67
yIV_Item2     31 0.513 0.490 0.481  0.446  3.4 0.71
yIV_Item3     31 0.412 0.404 0.395  0.335  3.5 0.72
yIV_Item4     31 0.088 0.053 0.044 -0.013  3.3 0.83
yIV_Item5     31 0.291 0.304 0.288  0.212  4.0 0.68
yIV_Item5_1   31 0.526 0.503 0.496  0.459  3.8 0.72
yIV_Item5_2_r 31 0.201 0.170 0.159  0.092  3.0 0.91
yIV_Item6     31 0.342 0.407 0.404  0.297  4.0 0.41
yIV_Item7     31 0.475 0.494 0.477  0.426  3.6 0.50
yIV_Item8     31 0.487 0.526 0.525  0.421  3.6 0.67
yIV_Item9     31 0.434 0.439 0.434  0.359  3.1 0.72
yIV_Item9_1   31 0.600 0.611 0.607  0.539  3.9 0.73
yIV_Item10    31 0.485 0.483 0.476  0.430  3.8 0.56
yIV_Item11    31 0.547 0.530 0.526  0.480  3.5 0.72
yIV_Item12    31 0.447 0.488 0.469  0.384  3.8 0.62
yIV_Item13    31 0.512 0.464 0.461  0.430  3.4 0.84
yIV_Item14    31 0.553 0.555 0.554  0.473  3.7 0.87
yIV_Item15    31 0.618 0.600 0.597  0.547  3.7 0.86
yIV_Item16    31 0.697 0.696 0.693  0.639  3.7 0.82
yIV_Item17    31 0.404 0.448 0.446  0.347  3.7 0.54
yIV_Item18    31 0.454 0.477 0.469  0.398  3.4 0.56
yIV_Item19    31 0.196 0.249 0.237  0.135  4.0 0.52
yIV_Item20    31 0.669 0.643 0.644  0.609  3.6 0.80
yIV_Item21    31 0.462 0.484 0.483  0.398  3.9 0.63
yIV_Item22    31 0.593 0.564 0.563  0.516  3.5 0.89
```

Abbildung 10-27: Itemstatistik Selbstwirksamkeitserwartungen – Gesamtskala – Hauptstudie

```
Reliability analysis
Call: psych::alpha(x = f.durchführung.post)

  raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N   ase mean   sd median_r
      0.68      0.67    0.65      0.29 2.1 0.086  3.6 0.41     0.33

 lower alpha upper     95% confidence boundaries
0.51 0.68 0.84

 Reliability if an item is dropped:
           raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N alpha se  var.r med.r
yIV_Item6       0.66      0.66    0.60      0.32 1.9    0.097 0.0075  0.34
yIV_Item7       0.66      0.67    0.63      0.34 2.1    0.093 0.0128  0.36
yIV_Item8       0.56      0.55    0.50      0.23 1.2    0.118 0.0137  0.22
yIV_Item9       0.63      0.64    0.60      0.31 1.8    0.099 0.0178  0.34
yIV_Item9_1     0.58      0.59    0.55      0.26 1.4    0.115 0.0176  0.29

 Item statistics
            n raw.r std.r r.cor r.drop mean   sd
yIV_Item6   31  0.53  0.60  0.46   0.36  4.0 0.41
yIV_Item7   31  0.54  0.57  0.39   0.33  3.6 0.50
yIV_Item8   31  0.77  0.77  0.71   0.56  3.6 0.67
yIV_Item9   31  0.69  0.64  0.49   0.42  3.1 0.72
yIV_Item9_1 31  0.75  0.71  0.61   0.51  3.9 0.73
```

Abbildung 10-28: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik Selbstwirksamkeitserwartungen – Subskala Durchführung von Experimenten – Hauptstudie

```
Reliability analysis
Call: psych::alpha(x = f.planung.post)

  raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N  ase mean   sd median_r
      0.7       0.7    0.75      0.25 2.3 0.08  3.5 0.45     0.33

 lower alpha upper     95% confidence boundaries
0.55 0.7 0.86

 Reliability if an item is dropped:
             raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N alpha se var.r med.r
yIV_Item1         0.63      0.63    0.66      0.22 1.7    0.100 0.035  0.20
yIV_Item2         0.64      0.63    0.68      0.22 1.7    0.098 0.046  0.20
yIV_Item3         0.70      0.69    0.72      0.27 2.2    0.080 0.059  0.37
yIV_Item4         0.64      0.64    0.69      0.23 1.8    0.099 0.048  0.28
yIV_Item5         0.75      0.76    0.76      0.35 3.2    0.068 0.022  0.37
yIV_Item5_1       0.64      0.63    0.68      0.22 1.7    0.098 0.057  0.28
yIV_Item5_2_r     0.65      0.65    0.71      0.24 1.9    0.095 0.051  0.33

 Item statistics
              n raw.r std.r r.cor r.drop mean   sd
yIV_Item1    31  0.70  0.71 0.684  0.563  3.6 0.67
yIV_Item2    31  0.69  0.70 0.660  0.539  3.4 0.71
yIV_Item3    31  0.50  0.52 0.405  0.297  3.5 0.72
yIV_Item4    31  0.69  0.67 0.604  0.515  3.3 0.83
yIV_Item5    31  0.23  0.25 0.088  0.016  4.0 0.68
yIV_Item5_1  31  0.69  0.69 0.626  0.533  3.8 0.72
yIV_Item5_2_r 31  0.68  0.64 0.549  0.466  3.0 0.91
```

Abbildung 10-29: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik Selbstwirksamkeitserwartungen – Subskala Planung von Experimenten – Hauptstudie

```
Reliability analysis
Call: psych::alpha(x = f.rekonstruktion.post)

  raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N   ase mean   sd median_r
      0.72      0.72    0.78      0.25 2.6 0.074  3.6 0.43     0.22

 lower alpha upper     95% confidence boundaries
0.58 0.72 0.87

 Reliability if an item is dropped:
           raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N alpha se var.r med.r
yIV_Item10      0.70      0.70    0.76      0.25 2.3    0.080 0.032  0.23
yIV_Item11      0.70      0.70    0.73      0.25 2.4    0.078 0.025  0.25
yIV_Item12      0.72      0.72    0.76      0.27 2.5    0.077 0.027  0.25
yIV_Item13      0.71      0.71    0.73      0.26 2.4    0.077 0.023  0.23
yIV_Item14      0.69      0.69    0.73      0.24 2.2    0.085 0.025  0.20
yIV_Item15      0.70      0.70    0.75      0.25 2.3    0.082 0.030  0.20
yIV_Item16      0.64      0.64    0.67      0.21 1.8    0.098 0.019  0.19
yIV_Item17      0.71      0.71    0.76      0.26 2.4    0.079 0.029  0.20

 Item statistics
            n raw.r std.r r.cor r.drop mean   sd
yIV_Item10 31  0.52  0.57  0.46   0.39  3.8 0.56
yIV_Item11 31  0.55  0.56  0.50   0.37  3.5 0.72
yIV_Item12 31  0.46  0.50  0.39   0.30  3.8 0.62
yIV_Item13 31  0.57  0.54  0.48   0.37  3.4 0.84
yIV_Item14 31  0.65  0.62  0.57   0.47  3.7 0.87
yIV_Item15 31  0.61  0.57  0.49   0.42  3.7 0.86
yIV_Item16 31  0.78  0.77  0.79   0.65  3.7 0.82
yIV_Item17 31  0.50  0.55  0.43   0.37  3.7 0.54
```

Abbildung 10-30: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik Selbstwirksamkeitserwartungen – Subskala Didaktische Rekonstruktion unterrichtsrelevanter Inhalte – Hauptstudie

```
Reliability analysis
Call: psych::alpha(x = f.umsetzung.post)

  raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N   ase mean   sd median_r
      0.67      0.66    0.72      0.28 1.9 0.088  3.7 0.46     0.22

 lower alpha upper     95% confidence boundaries
0.5 0.67 0.84

 Reliability if an item is dropped:
           raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N alpha se var.r med.r
yIV_Item18      0.65      0.62    0.64      0.29 1.6    0.093 0.052  0.25
yIV_Item19      0.71      0.71    0.75      0.38 2.5    0.082 0.038  0.38
yIV_Item20      0.56      0.58    0.55      0.26 1.4    0.124 0.024  0.22
yIV_Item21      0.56      0.51    0.53      0.21 1.1    0.114 0.048  0.13
yIV_Item22      0.56      0.56    0.59      0.24 1.3    0.124 0.048  0.16

 Item statistics
            n raw.r std.r r.cor r.drop mean   sd
yIV_Item18 31  0.56  0.62  0.51   0.36  3.4 0.56
yIV_Item19 31  0.37  0.45  0.20   0.15  4.0 0.52
yIV_Item20 31  0.76  0.69  0.65   0.53  3.6 0.80
yIV_Item21 31  0.74  0.78  0.74   0.57  3.9 0.63
yIV_Item22 31  0.78  0.71  0.64   0.54  3.5 0.89
```

Abbildung 10-31: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik Selbstwirksamkeitserwartungen – Subskala Umsetzung der Didaktischen Rekonstruktion im Unterricht – Hauptstudie

```
Reliability analysis
Call: psych::alpha(x = tests[which(tests$MZP == 2), 3:28])

  raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N   ase mean   sd median_r
      0.71      0.74    0.98     0.097 2.8 0.081  1.6 0.32    0.091

 lower alpha upper     95% confidence boundaries
0.55 0.71 0.87

 Reliability if an item is dropped:
                                                raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N var.r med.r
Fachliche.Korrektheit                                0.70      0.73    0.99     0.098 2.7 0.067 0.090
Fachliche.Voraussetzungen                            0.72      0.75    0.98     0.106 3.0 0.068 0.108
Methodische.Voraussetzungen                          0.71      0.74    0.98     0.102 2.8 0.067 0.093
Aktivierung.von.Vorwissen                            0.69      0.70    0.98     0.084 2.3 0.064 0.088
Detailliertheit.der.Beschreibung..Offenheit.         0.71      0.74    0.98     0.101 2.8 0.067 0.094
Passung.der.Beschreibung.mit..der.Planung            0.69      0.71    1.00     0.090 2.5 0.065 0.087
Öffnungsgrad                                         0.70      0.71    0.97     0.088 2.4 0.064 0.087
Zusätzliche.Differenzierung                          0.71      0.74    0.98     0.102 2.8 0.067 0.091
Begründung.des.Öffnungsgrades                        0.73      0.75    0.98     0.106 3.0 0.063 0.092
Detailliertheit.der.Beschreibung..Unterstützungsmaßnahmen.  0.70      0.73    0.98     0.099 2.7 0.067 0.088
Ausarbeitung.optionaler.Unterstützungsmaßnahmen      0.69      0.73    0.99     0.097 2.7 0.062 0.097
Differenzierungsgrad                                 0.69      0.73    0.98     0.099 2.7 0.062 0.094
Unterstützungsebenen                                 0.69      0.73    0.98     0.098 2.7 0.061 0.097
Begründung.der.Unterstützungsmaßnahmen               0.69      0.72    0.98     0.093 2.6 0.067 0.087
Fachimmanente.Einbettung                             0.70      0.73    0.98     0.096 2.7 0.067 0.087
Lebensweltliche.Einbettung                           0.74      0.75    0.98     0.109 3.1 0.066 0.104
Zielklarheit                                         0.70      0.72    0.97     0.095 2.6 0.067 0.088
Generalisierung                                      0.73      0.75    0.98     0.108 3.0 0.067 0.107
Passung.der.Lerngruppe.auf.Experimentierprozess      0.71      0.73    0.98     0.098 2.7 0.065 0.090
Passung.zwischen.Lernziel.und.Experimentierprozess   0.68      0.71    0.98     0.090 2.5 0.064 0.087
Passung.zwischen.Unterstützungsmaßnahmen.und.Offenheit  0.68      0.73    0.99     0.096 2.7 0.062 0.090
Frage..Problemstellung                               0.67      0.70    0.98     0.084 2.3 0.063 0.085
Phasen.des.Experimentierprozess                      0.71      0.74    0.98     0.102 2.9 0.067 0.091
Prozessreflexion                                     0.72      0.75    0.98     0.108 3.0 0.066 0.107
Ergebnisreflexion                                    0.65      0.70    0.98     0.086 2.4 0.066 0.085
Kontrollstrategien                                   0.71      0.73    0.98     0.098 2.7 0.066 0.088

 Item statistics
                                                n  raw.r   std.r  r.cor  r.drop mean   sd
Fachliche.Korrektheit                          24  0.300  0.3520  0.332  0.2346 2.62 0.58
Fachliche.Voraussetzungen                      24  0.097  0.1022  0.060  0.0048 2.69 0.76
Methodische.Voraussetzungen                    24  0.198  0.2343  0.233  0.1066 1.81 0.76
Aktivierung.von.Vorwissen                      24  0.697  0.7773  0.776  0.6732 0.96 0.36
Detailliertheit.der.Beschreibung..Offenheit.   24  0.191  0.2410  0.231  0.0857 1.92 0.88
Passung.der.Beschreibung.mit..der.Planung      24  0.535  0.6123  0.618  0.4570 2.58 0.83
Öffnungsgrad                                   24  0.552  0.6551  0.661  0.5226 2.88 0.34
Zusätzliche.Differenzierung                    24  0.144  0.2186  0.207  0.0592 0.33 0.70
Begründung.des.Öffnungsgrades                  24  0.038  0.0981  0.085 -0.0814 0.69 0.99
Detailliertheit.der.Beschreibung..Unterstützungsmaßnahmen.  24  0.393  0.3296  0.331  0.2752 1.88 1.08
Ausarbeitung.optionaler.Unterstützungsmaßnahmen  24  0.554  0.3917  0.395  0.4141 1.00 1.44
Differenzierungsgrad                           24  0.473  0.3171  0.318  0.3519 0.67 1.17
Unterstützungsebenen                           24  0.518  0.3491  0.352  0.4434 0.50 0.78
Begründung.der.Unterstützungsmaßnahmen         24  0.525  0.5105  0.512  0.4416 0.62 0.88
Fachimmanente.Einbettung                       24  0.340  0.4002  0.391  0.2243 0.42 1.02
Lebensweltliche.Einbettung                     24  0.028 -0.0045 -0.008 -0.1176 1.08 1.21
Zielklarheit                                   24  0.353  0.4449  0.445  0.2590 2.75 0.85
Generalisierung                                24  0.077  0.0256  0.023 -0.0458 2.62 1.01
Passung.der.Lerngruppe.auf.Experimentierprozess  24  0.216  0.3326  0.331  0.1275 1.71 0.75
Passung.zwischen.Lernziel.und.Experimentierprozess  24  0.607  0.5997  0.604  0.5245 1.92 0.97
Passung.zwischen.Unterstützungsmaßnahmen.und.Offenheit  24  0.542  0.3966  0.400  0.4207 1.12 1.26
Frage..Problemstellung                         24  0.726  0.7860  0.788  0.6718 2.75 0.85
Phasen.des.Experimentierprozess                24  0.193  0.2055  0.186  0.1201 2.88 0.61
Prozessreflexion                               24 -0.038  0.0291  0.026 -0.1116 0.12 0.61
Ergebnisreflexion                              24  0.746  0.7143  0.717  0.6555 2.12 1.39
Kontrollstrategien                             24  0.199  0.3337  0.328  0.1416 1.33 0.48
```

Abbildung 10-32: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik – experimentelle Planungskompetenz – Hauptstudie

```
Split-Half-Reliabilität

> H1 <- apply(tests[which(tests$MZP==2), 3:15],1,sum)
> H2 <- apply(tests[which(tests$MZP==2), 16:28],1,sum)
> r <- cor(H1,H2)
> r
[1] 0.6858931
> spearman_brown <- 2*r/(1+r)
> spearman_brown
[1] 0.8136851
```

Abbildung 10-33: Spearman-Brown Reliabilität – experimentelle Planungskompetenz – Hauptstudie

```
Reliability analysis
Call: psych::alpha(x = protokolle[which(protokolle$Zyklus == 3), 3:28])

  raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N  ase mean   sd median_r
      0.84      0.81    0.96      0.14 4.4 0.04  1.8 0.44     0.14

 lower alpha upper     95% confidence boundaries
0.76 0.84 0.92

 Reliability if an item is dropped:
                                                raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N var.r med.r
Fachliche.Korrektheit                                0.85      0.83    0.98      0.16 4.8 0.054  0.16
Fachliche.Voraussetzungen                            0.84      0.82    0.97      0.15 4.5 0.057  0.15
Methodische.Voraussetzungen                          0.83      0.80    0.99      0.14 4.0 0.055  0.14
Aktivierung.von.Vorwissen                            0.84      0.82    0.98      0.15 4.4 0.054  0.14
Detailliertheit.der.Beschreibung..Offenheit.         0.83      0.80    0.98      0.14 4.0 0.057  0.13
Passung.der.Beschreibung.mit..der.Planung            0.84      0.80    0.97      0.14 4.1 0.057  0.13
Öffnungsgrad                                         0.84      0.82    0.98      0.15 4.5 0.055  0.15
Zusätzliche.Differenzierung                          0.84      0.82    0.97      0.15 4.4 0.055  0.15
Begründung.des.Öffnungsgrades                        0.83      0.80    0.98      0.14 4.0 0.057  0.14
Detailliertheit.der.Beschreibung..Unterstützungsmaßnahmen.   0.83      0.80    0.97      0.14 4.0 0.055  0.14
Ausarbeitung.optionaler.Unterstützungsmaßnahmen      0.82      0.79    0.97      0.13 3.8 0.051  0.13
Differenzierungsgrad                                 0.82      0.79    0.97      0.13 3.8 0.053  0.13
Unterstützungsebenen                                 0.83      0.80    0.98      0.14 3.9 0.056  0.13
Begründung.der.Unterstützungsmaßnahmen               0.83      0.80    1.00      0.14 4.0 0.056  0.14
Fachimmanente.Einbettung                             0.84      0.82    0.98      0.15 4.5 0.056  0.15
Lebensweltliche.Einbettung                           0.85      0.82    0.98      0.15 4.5 0.057  0.15
Zielklarheit                                         0.83      0.80    0.98      0.14 4.0 0.057  0.13
Generalisierung                                      0.84      0.82    0.98      0.15 4.5 0.056  0.15
Passung.der.Lerngruppe.auf.Experimentierprozess      0.84      0.80    0.98      0.14 4.1 0.058  0.13
Passung.zwischen.Lernziel.und.Experimentierprozess   0.84      0.81    0.98      0.14 4.2 0.056  0.14
Passung.zwischen.Unterstützungsmaßnahmen.und.Offenheit   0.81      0.79    0.97      0.13 3.7 0.051  0.13
Frage..Problemstellung                               0.84      0.80    0.97      0.14 4.1 0.058  0.13
Phasen.des.Experimentierprozess                      0.85      0.82    0.98      0.16 4.6 0.055  0.15
Prozessreflexion                                     0.84      0.82    0.98      0.15 4.4 0.058  0.15
Ergebnisreflexion                                    0.85      0.82    0.99      0.16 4.6 0.055  0.15
Kontrollstrategien                                   0.84      0.82    0.98      0.15 4.4 0.057  0.14

 Item statistics
                                                 n raw.r  std.r  r.cor r.drop mean   sd
Fachliche.Korrektheit                           24 -0.12 -0.057 -0.074 -0.154 2.83 0.38
Fachliche.Voraussetzungen                       24  0.16  0.234  0.235  0.116 2.81 0.51
Methodische.Voraussetzungen                     24  0.64  0.635  0.646  0.588 1.81 0.99
Aktivierung.von.Vorwissen                       24  0.30  0.249  0.252  0.227 0.79 0.88
Detailliertheit.der.Beschreibung..Offenheit.    24  0.57  0.597  0.605  0.521 2.17 0.82
Passung.der.Beschreibung.mit..der.Planung       24  0.48  0.516  0.488  0.401 1.88 1.15
Öffnungsgrad                                    24  0.20  0.203  0.180  0.163 2.38 0.49
Zusätzliche.Differenzierung                     24  0.22  0.255  0.236  0.188 0.12 0.34
Begründung.des.Öffnungsgrades                   24  0.55  0.574  0.554  0.473 1.94 1.13
Detailliertheit.der.Beschreibung..Unterstützungsmaßnahmen.  24  0.64  0.617  0.622  0.591 2.12 0.85
Ausarbeitung.optionaler.Unterstützungsmaßnahmen 24  0.83  0.789  0.711  0.790 2.12 1.39
Differenzierungsgrad                            24  0.79  0.772  0.779  0.742 1.71 1.37
Unterstützungsebenen                            24  0.71  0.685  0.693  0.652 1.17 1.17
Begründung.der.Unterstützungsmaßnahmen          24  0.59  0.604  0.607  0.519 1.69 1.20
Fachimmanente.Einbettung                        24  0.22  0.209  0.207  0.148 0.79 0.88
Lebensweltliche.Einbettung                      24  0.20  0.208  0.208  0.129 0.58 0.88
Zielklarheit                                    24  0.58  0.578  0.583  0.527 2.75 0.85
Generalisierung                                 24  0.17  0.180  0.153  0.116 2.88 0.61
Passung.der.Lerngruppe.auf.Experimentierprozess 24  0.48  0.505  0.506  0.420 1.96 0.81
Passung.zwischen.Lernziel.und.Experimentierprozess  24  0.37  0.437  0.439  0.318 2.04 0.62
Passung.zwischen.Unterstützungsmaßnahmen.und.Offenheit  24  0.89  0.863  0.869  0.863 2.00 1.35
Frage..Problemstellung                          24  0.55  0.536  0.535  0.450 1.75 1.51
Phasen.des.Experimentierprozess                 24  0.15  0.130  0.117  0.061 2.62 1.01
Prozessreflexion                                24  0.26  0.260  0.229  0.189 0.25 0.85
Ergebnisreflexion                               24  0.14  0.103  0.104  0.026 2.25 1.33
Kontrollstrategien                              24  0.29  0.275  0.276  0.224 0.67 0.76
```

Abbildung 10-34: Reliabilitätsanalyse und Itemstatistik – Entwürfe – Hauptstudie

```
> H1 <- apply(protokolle[which(tests$MZP==3), 3:15],1,sum)
> H2 <- apply(protokolle[which(tests$MZP==3), 16:28],1,sum)
> r <- cor(H1,H2)
> r
[1] 0.7606646
> spearman_brown <- 2*r/(1+r)
> spearman_brown
[1] 0.8640653
```

Abbildung 10-35: Spearman-Brown Reliabilität - Entwürfe - Hauptstudie

```
> t.test(daten$MZP2, daten$MZP1, paired = T, alternative = "greater")

        Paired t-test

data:  daten$MZP2 and daten$MZP1
t = 3.9215, df = 30, p-value = 0.0002368
alternative hypothesis: true difference in means is greater than 0
95 percent confidence interval:
 5.219865      Inf
sample estimates:
mean of the differences
               9.203036


> cohensD(daten$MZP1, daten$MZP2, method = "paired")
[1] 0.7043198
```

Abbildung 10-36: t-Test und Effektstärke – Pre-Post-Vergleich – experimentell-fachdidaktisches Wissen – Hauptstudie

```
> t.test(daten$MZP3, daten$MZP1, paired = T, alternative = "greater")

        Paired t-test

data:  daten$MZP3 and daten$MZP1
t = 2.514, df = 22, p-value = 0.009876
alternative hypothesis: true difference in means is greater than 0
95 percent confidence interval:
 2.168532      Inf
sample estimates:
mean of the differences
               6.841432

> cohensD(daten$MZP1, daten$MZP3, method = "paired")
[1] 0.5242077
```

Abbildung 10-37: t-Test und Effektstärke – Pre-FollowUp-Vergleich – experimentell-fachdidaktisches Wissen – Hauptstudie

```
> t.test(daten$MZP2, daten$MZP3, paired = T, alternative = "greater")

        Paired t-test

data:  daten$MZP2 and daten$MZP3
t = 0.7716, df = 22, p-value = 0.2243
alternative hypothesis: true difference in means is greater than 0
95 percent confidence interval:
 -2.663983       Inf
sample estimates:
mean of the differences
               2.173913

> cohensD(daten$MZP2, daten$MZP3, method = "paired")
[1] 0.1608898
```

Abbildung 10-38: t-Test und Effektstärke – Post-Follow-Up-Vergleich – experimentell-fachdidaktisches Wissen – Hauptstudie

```
> t.test(swe$Gesamtskala.Post, swe$Gesamtskala.Pre, paired = T, alternative = "greater")

        Paired t-test

data:  swe$Gesamtskala.Post and swe$Gesamtskala.Pre
t = 6.4099, df = 30, p-value = 2.23e-07
alternative hypothesis: true difference in means is greater than 0
95 percent confidence interval:
 0.3272878       Inf
sample estimates:
mean of the differences
             0.4451613

> cohensD(swe$Gesamtskala.Post , swe$Gesamtskala.Pre, method = "paired")
[1] 1.151248
```

Abbildung 10-39: t-Test und Effektstärke – Pre-Post-Vergleich – Selbstwirksamkeitserwartungen Gesamtskala – Hauptstudie

```
> t.test(swe$SWE.Planung.MZP.2, swe$SWE.Planung.MZP.1, paired = T, alternative = "greater")

        Paired t-test

data:  swe$SWE.Planung.MZP.2 and swe$SWE.Planung.MZP.1
t = 6.435, df = 30, p-value = 2.081e-07
alternative hypothesis: true difference in means is greater than 0
95 percent confidence interval:
 0.5055331       Inf
sample estimates:
mean of the differences
             0.6866359

> cohensD(swe$SWE.Planung.MZP.1, swe$SWE.Planung.MZP.2, method = "paired")
[1] 1.155764
```

Abbildung 10-40: t-Test und Effektstärke – Pre-Post-Vergleich – Selbstwirksamkeitserwartungen Subskala Planung von Experimenten – Hauptstudie

```
        Paired t-test

data:  swe$SWE.Durchführung.MZP.2 and swe$SWE.Durchführung.MZP.1
t = 5.1775, df = 30, p-value = 7.056e-06
alternative hypothesis: true difference in means is greater than 0
95 percent confidence interval:
 0.2775469       Inf
sample estimates:
mean of the differences
             0.4129032

> cohensD(swe$SWE.Durchführung.MZP.1, swe$SWE.Durchführung.MZP.2, method = "paired")
[1] 0.9299026
```

Abbildung 10-41: t-Test und Effektstärke – Pre-Post-Vergleich – Selbstwirksamkeitserwartungen Subskala Durchführung von Experimenten – Hauptstudie

```
        Wilcoxon signed rank test with continuity correction

data:  plako$MZP2 and plako$MZP1
V = 292, p-value = 2.629e-05
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
95 percent confidence interval:
 12.81493      Inf
sample estimates:
(pseudo)median
      16.66996

> wilcoxonPairedR(val$Plako, val$MZP)
     r
-0.829

        Paired t-test

data:  plako$MZP2 and plako$MZP1
t = 7.3807, df = 23, p-value = 8.304e-08
alternative hypothesis: true difference in means is greater than 0
95 percent confidence interval:
 12.57096      Inf
sample estimates:
mean of the differences
               16.37292

> cohensD(plako$MZP2, plako$MZP1, method = "paired")
[1] 1.506578
```

Abbildung 10-42: Wilcoxon-Test, t-Test und Effektstärken – Pre-Post-Vergleich – experimentelle Planungskompetenz – Hauptstudie

```
> t.test(plako$MZP3, plako$MZP1, paired = T)

        Paired t-test

data:  plako$MZP3 and plako$MZP1
t = 4.5645, df = 20, p-value = 9.414e-05
alternative hypothesis: true difference in means is greater than 0
95 percent confidence interval:
 6.98874     Inf
sample estimates:
mean of the differences
               11.23333


> cohensD(plako$MZP3, plako$MZP1, method = "paired")
[1] 0.9960499
```

Abbildung 10-43: t-Test und Effektstärke – Pre-Follow-Up-Vergleich – experimentelle Planungskompetenz – Hauptstudie

```
        Paired t-test

data:  plako$MZP2 and plako$MZP3
t = 2.051, df = 20, p-value = 0.0268
alternative hypothesis: true difference in means is greater than 0
95 percent confidence interval:
 0.8206772       Inf
sample estimates:
mean of the differences
               5.158571

> cohensD(plako$MZP3, plako$MZP2, method = "paired")
[1] 0.447568
```

Abbildung 10-44:t-Test und Effektstärke – Post-Follow-Up-Vergleich – experimentelle Planungskompetenz – Hauptstudie

```
$ANOVA
       Effect DFn DFd          SSn      SSd           F             p p<.05        ges
1 (Intercept)   1  23 264052.5009 11614.56 522.896250 2.558863e-17     * 0.94323213
2         MZP   2  46    193.7652  4277.29   1.041921 3.609518e-01       0.01204587

$`Mauchly's Test for Sphericity`
  Effect         W         p p<.05
2    MZP 0.8609669 0.1926863

$`Sphericity Corrections`
  Effect       GGe     p[GG] p[GG]<.05       HFe     p[HF] p[HF]<.05
2    MZP 0.8779376 0.3539396           0.9447554 0.3579522
```

Abbildung 10-45: Varianzanalyse Entwürfe – Hauptstudie

```
        Friedman rank sum test

data:  Score and MZP and Codes
Friedman chi-squared = 0.083333, df = 2, p-value = 0.9592

> w
Friedman chi-squared
          0.06019293
```

Abbildung 10-46: Friedman-Test Entwürfe – Hauptstudie

```
        Spearman's rank correlation rho

data:  val.pre$Plako and val.pre$Protokoll.X
S = 1444.3, p-value = 0.0367
alternative hypothesis: true rho is greater than 0
sample estimates:
      rho
0.3720627


> cor.test(val.pre$Plako, val.pre$Protokoll.Y, method = "spearman", alternative = "greater")

        Spearman's rank correlation rho

data:  val.pre$Plako and val.pre$Protokoll.Y
S = 1346.3, p-value = 0.02196
alternative hypothesis: true rho is greater than 0
sample estimates:
      rho
0.4146713


> cor.test(val.pre$Plako, val.pre$Protokoll.Z, method = "pearson", alternative = "greater")

        Pearson's product-moment correlation

data:  val.pre$Plako and val.pre$Protokoll.Z
t = 1.4817, df = 22, p-value = 0.07631
alternative hypothesis: true correlation is greater than 0
95 percent confidence interval:
 -0.04804115  1.00000000
sample estimates:
      cor
0.3012178
```

Abbildung 10-47: Korrelation experimentelle Planungskompetenztests und Entwürfe – Pre-Test – Hauptstudie

```
> cor.test(val.post$Plako, val.pre$Protokoll.X, method = "spearman", alternative = "greater")

        Spearman's rank correlation rho

data:  val.post$Plako and val.pre$Protokoll.X
S = 1276.6, p-value = 0.01467
alternative hypothesis: true rho is greater than 0
sample estimates:
     rho
0.444978


> cor.test(val.post$Plako, val.pre$Protokoll.Y, method = "spearman", alternative = "greater")

        Spearman's rank correlation rho

data:  val.post$Plako and val.pre$Protokoll.Y
S = 1172.3, p-value = 0.007501
alternative hypothesis: true rho is greater than 0
sample estimates:
      rho
0.4902992


> cor.test(val.post$Plako, val.pre$Protokoll.Z, method = "spearman", alternative = "greater")

        Spearman's rank correlation rho

data:  val.post$Plako and val.pre$Protokoll.Z
S = 1129.4, p-value = 0.005545
alternative hypothesis: true rho is greater than 0
sample estimates:
      rho
0.5089371
```

Abbildung 10-48: Korrelation experimentelle Planungskompetenz und Entwürfe – Post-Test – Hauptstudie

```
> cor.test(val.pre$PCK, val.pre$Plako, method = "pearson", alternative = "greater")

        Pearson's product-moment correlation

data:  val.pre$PCK and val.pre$Plako
t = 2.6403, df = 22, p-value = 0.007472
alternative hypothesis: true correlation is greater than 0
95 percent confidence interval:
 0.1759843 1.0000000
sample estimates:
      cor
0.4905406

> cor.test(val.post$PCK, val.post$Plako, method = "spearman", alternative = "greater")

        Spearman's rank correlation rho

data:  val.post$PCK and val.post$Plako
S = 1358.7, p-value = 0.02353
alternative hypothesis: true rho is greater than 0
sample estimates:
      rho
0.4092497
```

Abbildung 10-49: Korrelationen experimentell-fachdidaktisches Wissen und experimentelle Planungskompetenz – Hauptstudie

```
> f1 <- Plako ~ 1 + MZP + PCK + (1 | Code)
> lmm1 <- lmer(formula = f1, data = val)
> summary(lmm1)
Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method ['lmerModLmerTest']
Formula: f1
   Data: val

REML criterion at convergence: 340.2

Scaled residuals:
     Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.35367 -0.50502 -0.09361  0.64277  1.69048

Random effects:
 Groups   Name        Variance Std.Dev.
 Code     (Intercept) 22.81    4.775
 Residual             60.01    7.747
Number of obs: 48, groups:  Code, 24

Fixed effects:
            Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept) 20.30530    5.74680 36.37520   3.533  0.00114 **
MZP         13.88917    2.37101 26.65339   5.858 3.23e-06 ***
PCK          0.28546    0.09056 35.70867   3.152  0.00328 **
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Correlation of Fixed Effects:
    (Intr) MZP
MZP  0.131
PCK -0.946 -0.332

> r.squaredGLMM(lmm1)
           R2m       R2c
[1,] 0.5161377 0.6493829
```

Abbildung 10-50: LMM Modell 1

```
> f2 <- Plako ~ 1 + MZP + PCK + FU + SWE.Gesamtskala + (1 | Code)
> lmm2 <- lmer(formula = f2, data = val)
> summary(lmm2)
Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method ['lmerModLmerTest']
Formula: f2
   Data: val

REML criterion at convergence: 326

Scaled residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max
-2.3180 -0.5527  0.1412  0.4996  2.1111

Random effects:
 Groups   Name        Variance Std.Dev.
 Code     (Intercept)  8.859   2.976
 Residual             66.979   8.184
Number of obs: 48, groups:  Code, 24

Fixed effects:
                Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept)     14.63124   20.43450 20.76193   0.716   0.4820
MZP             17.32723    2.93508 34.08817   5.903 1.14e-06 ***
PCK              0.24554    0.09502 31.59352   2.584   0.0146 *
FU               8.65950    6.03672 22.09576   1.434   0.1654
SWE.Gesamtskala -7.69473    3.66966 38.66317  -2.097   0.0426 *
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Correlation of Fixed Effects:
            (Intr) MZP    PCK    FU
MZP          0.030
PCK          0.189 -0.318
FU          -0.810  0.280 -0.460
SWE.Gsmtskl -0.258 -0.523  0.073 -0.299
> r.squaredGLMM(lmm2)
          R2m       R2c
[1,] 0.565303 0.6160812

> BIC(lmm1, lmm2)
     df      BIC
lmm1  5 359.5695
lmm2  7 353.1310
```

Abbildung 10-51: LMM Modell (2) und BIC

```
> f3 <- PCK ~ 1 + MZP+Plako + (1 |Code)
> lmm3 <- lmer(formula = f3, data = val)
> summary(lmm3)
Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method ['lmerModLmerTest']
Formula: f3
   Data: val

REML criterion at convergence: 372.6

Scaled residuals:
     Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.34783 -0.50402  0.04942  0.46441  1.45511

Random effects:
 Groups   Name        Variance Std.Dev.
 Code     (Intercept) 118      10.861
 Residual              86       9.273
Number of obs: 48, groups:  Code, 24

Fixed effects:
            Estimate Std. Error      df t value Pr(>|t|)
(Intercept)  41.6494     7.8506 44.5408   5.305 3.39e-06 ***
MZP           0.6561     4.1622 33.8472   0.158   0.8757
Plako         0.4914     0.1947 42.9841   2.524   0.0154 *
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Correlation of Fixed Effects:
      (Intr) MZP
MZP    0.601
Plako -0.928 -0.766
> r.squaredGLMM(lmm3)
           R2m       R2c
[1,] 0.1768853 0.6529506
```

Abbildung 10-52:LMM Modell (3)

```
> f4 <- PCK ~ 1 + MZP + Plako + FU + SWE.Gesamtskala + Mean.Protokolle + (1 |Code)
> f4 <- PCK ~ 1 + MZP + Plako + FU + SWE.Gesamtskala +(1 |Code)
> lmm4 <- lmer(formula = f4, data = val)
> summary(lmm4)
Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method ['lmerModLmerTest']
Formula: f4
   Data: val

REML criterion at convergence: 355.3

Scaled residuals:
     Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.45049 -0.48197 -0.04909  0.39929  1.64810

Random effects:
 Groups   Name        Variance Std.Dev.
 Code     (Intercept) 98.34    9.916
 Residual             83.75    9.151
Number of obs: 48, groups:  Code, 24

Fixed effects:
                Estimate Std. Error       df t value Pr(>|t|)
(Intercept)     -38.9224    35.9344  21.6081  -1.083   0.2907
MZP               3.1590     4.9639  29.9601   0.636   0.5294
Plako             0.3846     0.1972  39.1590   1.950   0.0583 .
FU               24.1213     9.9991  25.0015   2.412   0.0235 *
SWE.Gesamtskala  -1.8787     5.3450  39.1024  -0.351   0.7271
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Correlation of Fixed Effects:
            (Intr) MZP    Plako  FU
MZP          0.074
Plako        0.002 -0.732
FU          -0.854  0.306 -0.284
SWE.Gsmtskl -0.218 -0.556  0.190 -0.281
> r.squaredGLMM(lmm4)
          R2m      R2c
[1,] 0.327789 0.690821

> BIC(lmm3,lmm4)
     df      BIC
lmm3  5 391.9484
lmm4  7 382.4283
```

Abbildung 10-53: LMM Modell (4) und BIC

Bisher erschienene Bände der Reihe *„Studien zum Physik- und Chemielernen“*

ISSN 1614-8967 (vormals *Studien zum Physiklernen* ISSN 1435-5280)

1 Helmut Fischler, Jochen Peuckert (Hrsg.): Concept Mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie
ISBN 978-3-89722-256-4 40.50 EUR

2 Anja Schoster: Bedeutungsentwicklungsprozesse beim Lösen algorithmischer Physikaufgaben. *Eine Fallstudie zu Lernprozessen von Schülern im Physiknachhilfeunterricht während der Bearbeitung algorithmischer Physikaufgaben*
ISBN 978-3-89722-045-4 40.50 EUR

3 Claudia von Aufschnaiter: Bedeutungsentwicklungen, Interaktionen und situatives Erleben beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben
ISBN 978-3-89722-143-7 40.50 EUR

4 Susanne Haeberlen: Lernprozesse im Unterricht mit Wasserstromkreisen. *Eine Fallstudie in der Sekundarstufe I*
ISBN 978-3-89722-172-7 40.50 EUR

5 Kerstin Haller: Über den Zusammenhang von Handlungen und Zielen. *Eine empirische Untersuchung zu Lernprozessen im physikalischen Praktikum*
ISBN 978-3-89722-242-7 40.50 EUR

6 Michaela Horstendahl: Motivationale Orientierungen im Physikunterricht
ISBN 978-3-89722-227-4 50.00 EUR

7 Stefan Deylitz: Lernergebnisse in der Quanten-Atomphysik. *Evaluation des Bremer Unterrichtskonzepts*
ISBN 978-3-89722-291-5 40.50 EUR

8 Lorenz Hucke: Handlungsregulation und Wissenserwerb in traditionellen und computergestützten Experimenten des physikalischen Praktikums
ISBN 978-3-89722-316-5 50.00 EUR

9 Heike Theyßen: Ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin. *Darstellung der Entwicklung und Evaluation eines adressatenspezifischen Praktikums nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion*
ISBN 978-3-89722-334-9 40.50 EUR

10 Annette Schick: Der Einfluß von Interesse und anderen selbstbezogenen Kognitionen auf Handlungen im Physikunterricht. *Fallstudien zu Interessenhandlungen im Physikunterricht*
ISBN 978-3-89722-380-6 40.50 EUR

11 Roland Berger: Moderne bildgebende Verfahren der medizinischen Diagnostik. *Ein Weg zu interessanterem Physikunterricht*
ISBN 978-3-89722-445-2 40.50 EUR

12 Johannes Werner: Vom Licht zum Atom. *Ein Unterrichtskonzept zur Quantenphysik unter Nutzung des Zeigermodells*
ISBN 978-3-89722-471-1 40.50 EUR

13 Florian Sander: Verbindung von Theorie und Experiment im physikalischen Praktikum. *Eine empirische Untersuchung zum handlungsbezogenen Vorverständnis und dem Einsatz grafikorientierter Modellbildung im Praktikum*
ISBN 978-3-89722-482-7 40.50 EUR

14 Jörn Gerdes: Der Begriff der physikalischen Kompetenz. *Zur Validierung eines Konstruktes*
ISBN 978-3-89722-510-7 40.50 EUR

15 Malte Meyer-Arndt: Interaktionen im Physikpraktikum zwischen Studierenden und Betreuern. *Feldstudie zu Bedeutungsentwicklungsprozessen im physikalischen Praktikum*
ISBN 978-3-89722-541-1 40.50 EUR

16 Dietmar Höttecke: Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen. *Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen*
ISBN 978-3-89722-607-4 40.50 EUR

17 Gil Gabriel Mavanga: Entwicklung und Evaluation eines experimentell- und phänomenorientierten Optikcurriculums. *Untersuchung zu Schülervorstellungen in der Sekundarstufe I in Mosambik und Deutschland*
ISBN 978-3-89722-721-7 40.50 EUR

18 Meike Ute Zastrow: Interaktive Experimentieranleitungen. *Entwicklung und Evaluation eines Konzeptes zur Vorbereitung auf das Experimentieren mit Messgeräten im Physikalischen Praktikum*
ISBN 978-3-89722-802-3 40.50 EUR

19 Gunnar Friege: Wissen und Problemlösen. *Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs*
ISBN 978-3-89722-809-2 40.50 EUR

20 Erich Starauschek: Physikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs. *Ergebnisse einer Evaluationsstudie*
ISBN 978-3-89722-823-8 40.50 EUR

21 Roland Paatz: Charakteristika analogiebasierten Denkens. *Vergleich von Lernprozessen in Basis- und Zielbereich*
ISBN 978-3-89722-944-0 40.50 EUR

22 Silke Mikelskis-Seifert: Die Entwicklung von Metakonzepten zur Teilchenvorstellung bei Schülern. *Untersuchung eines Unterrichts über Modelle mithilfe eines Systems multipler Repräsentationsebenen*
ISBN 978-3-8325-0013-9 40.50 EUR

23 Brunhild Landwehr: Distanzen von Lehrkräften und Studierenden des Sachunterrichts zur Physik. *Eine qualitativ-empirische Studie zu den Ursachen*
ISBN 978-3-8325-0044-3 40.50 EUR

24 Lydia Murmann: Physiklernen zu Licht, Schatten und Sehen. *Eine phänomenografische Untersuchung in der Primarstufe*
ISBN 978-3-8325-0060-3 40.50 EUR

25 Thorsten Bell: Strukturprinzipien der Selbstregulation. *Komplexe Systeme, Elementarisierungen und Lernprozessstudien für den Unterricht der Sekundarstufe II*
ISBN 978-3-8325-0134-1 40.50 EUR

26 Rainer Müller: Quantenphysik in der Schule
ISBN 978-3-8325-0186-0 40.50 EUR

27 Jutta Roth: Bedeutungsentwicklungsprozesse von Physikerinnen und Physikern in den Dimensionen Komplexität, Zeit und Inhalt
ISBN 978-3-8325-0183-9 40.50 EUR

28 Andreas Saniter: Spezifika der Verhaltensmuster fortgeschrittener Studierender der Physik
ISBN 978-3-8325-0292-8 40.50 EUR

29 Thomas Weber: Kumulatives Lernen im Physikunterricht. *Eine vergleichende Untersuchung in Unterrichtsgängen zur geometrischen Optik*
ISBN 978-3-8325-0316-1 40.50 EUR

30 Markus Rehm: Über die Chancen und Grenzen moralischer Erziehung im naturwissenschaftlichen Unterricht
ISBN 978-3-8325-0368-0 40.50 EUR

31 Marion Budde: Lernwirkungen in der Quanten-Atom-Physik. *Fallstudien über Resonanzen zwischen Lernangeboten und SchülerInnen-Vorstellungen*
ISBN 978-3-8325-0483-0 40.50 EUR

32 Thomas Reyer: Oberflächenmerkmale und Tiefenstrukturen im Unterricht. *Exemplarische Analysen im Physikunterricht der gymnasialen Sekundarstufe*
ISBN 978-3-8325-0488-5 40.50 EUR

33 Christoph Thomas Müller: Subjektive Theorien und handlungsleitende Kognitionen von Lehrern als Determinanten schulischer Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-0543-1 40.50 EUR

34 Gabriela Jonas-Ahrend: Physiklehrervorstellungen zum Experiment im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-0576-9 40.50 EUR

35 Dimitrios Stavrou: Das Zusammenspiel von Zufall und Gesetzmäßigkeiten in der nichtlinearen Dynamik. *Didaktische Analyse und Lernprozesse*
ISBN 978-3-8325-0609-4 40.50 EUR

36 Katrin Engeln: Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken
ISBN 978-3-8325-0689-6 40.50 EUR

37 Susann Hartmann: Erklärungsvielfalt
ISBN 978-3-8325-0730-5 40.50 EUR

38 Knut Neumann: Didaktische Rekonstruktion eines physikalischen Praktikums für Physiker
ISBN 978-3-8325-0762-6 40.50 EUR

39 Michael Späth: Kontextbedingungen für Physikunterricht an der Hauptschule. *Möglichkeiten und Ansatzpunkte für einen fachübergreifenden, handlungsorientierten und berufsorientierten Unterricht*
ISBN 978-3-8325-0827-2 40.50 EUR

40 Jörg Hirsch: Interesse, Handlungen und situatives Erleben von Schülerinnen und Schülern beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben
ISBN 978-3-8325-0875-3 40.50 EUR

41 Monika Hüther: Evaluation einer hypermedialen Lernumgebung zum Thema Gasgesetze. *Eine Studie im Rahmen des Physikpraktikums für Studierende der Medizin*
ISBN 978-3-8325-0911-8 40.50 EUR

42 Maike Tesch: Das Experiment im Physikunterricht. *Didaktische Konzepte und Ergebnisse einer Videostudie*
ISBN 978-3-8325-0975-0 40.50 EUR

43 Nina Nicolai: Skriptgeleitete Eltern-Kind-Interaktion bei Chemiehausaufgaben. *Eine Evaluationsstudie im Themenbereich Säure-Base*
ISBN 978-3-8325-1013-8 40.50 EUR

44 Antje Leisner: Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-1020-6 40.50 EUR

45 Stefan Rumann: Evaluation einer Interventionsstudie zur Säure-Base-Thematik
ISBN 978-3-8325-1027-5 40.50 EUR

46 Thomas Wilhelm: Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung – mit CD-ROM
ISBN 978-3-8325-1046-6 45.50 EUR

47 Andrea Maier-Richter: Computerunterstütztes Lernen mit Lösungsbeispielen in der Chemie. *Eine Evaluationsstudie im Themenbereich Löslichkeit*
ISBN 978-3-8325-1046-6 40.50 EUR

48 Jochen Peuckert: Stabilität und Ausprägung kognitiver Strukturen zum Atombegriff
ISBN 978-3-8325-1104-3 40.50 EUR

49 Maik Walpuski: Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback
ISBN 978-3-8325-1184-5 40.50 EUR

50 Helmut Fischler, Christiane S. Reiners (Hrsg.): Die Teilchenstruktur der Materie im Physik- und Chemieunterricht
ISBN 978-3-8325-1225-5 34.90 EUR

51 Claudia Eysel: Interdisziplinäres Lehren und Lernen in der Lehrerbildung. *Eine empirische Studie zum Kompetenzerwerb in einer komplexen Lernumgebung*
ISBN 978-3-8325-1238-5 40.50 EUR

52 Johannes Günther: Lehrerfortbildung über die Natur der Naturwissenschaften. *Studien über das Wissenschaftsverständnis von Grundschullehrkräften*
ISBN 978-3-8325-1287-3 40.50 EUR

53 Christoph Neugebauer: Lernen mit Simulationen und der Einfluss auf das Problemlösen in der Physik
ISBN 978-3-8325-1300-9 40.50 EUR

54 Andreas Schnirch: Gendergerechte Interessen- und Motivationsförderung im Kontext naturwissenschaftlicher Grundbildung. *Konzeption, Entwicklung und Evaluation einer multimedial unterstützten Lernumgebung*
ISBN 978-3-8325-1334-4 40.50 EUR

55 Hilde Köster: Freies Explorieren und Experimentieren. *Eine Untersuchung zur selbstbestimmten Gewinnung von Erfahrungen mit physikalischen Phänomenen im Sachunterricht*
ISBN 978-3-8325-1348-1 40.50 EUR

56 Eva Heran-Dörr: Entwicklung und Evaluation einer Lehrerfortbildung zur Förderung der physikdidaktischen Kompetenz von Sachunterrichtslehrkräften
ISBN 978-3-8325-1377-1 40.50 EUR

57 Agnes Szabone Varnai: Unterstützung des Problemlösens in Physik durch den Einsatz von Simulationen und die Vorgabe eines strukturierten Kooperationsformats
ISBN 978-3-8325-1403-7 40.50 EUR

58 Johannes Rethfeld: Aufgabenbasierte Lernprozesse in selbstorganisationsoffenem Unterricht der Sekundarstufe I zum Themengebiet ELEKTROSTATIK. *Eine Feldstudie in vier 10. Klassen zu einer kartenbasierten Lernumgebung mit Aufgaben aus der Elektrostatik*
ISBN 978-3-8325-1416-7 40.50 EUR

59 Christian Henke: Experimentell-naturwissenschaftliche Arbeitsweisen in der Oberstufe. *Untersuchung am Beispiel des HIGHSEA-Projekts in Bremerhaven*
ISBN 978-3-8325-1515-7 40.50 EUR

60 Lutz Kasper: Diskursiv-narrative Elemente für den Physikunterricht. *Entwicklung und Evaluation einer multimedialen Lernumgebung zum Erdmagnetismus*
ISBN 978-3-8325-1537-9 40.50 EUR

61 Thorid Rabe: Textgestaltung und Aufforderung zu Selbsterklärungen beim Physiklernen mit Multimedia
ISBN 978-3-8325-1539-3 40.50 EUR

62 Ina Glemnitz: Vertikale Vernetzung im Chemieunterricht. *Ein Vergleich von traditionellem Unterricht mit Unterricht nach Chemie im Kontext*
ISBN 978-3-8325-1628-4 40.50 EUR

63 Erik Einhaus: Schülerkompetenzen im Bereich Wärmelehre. *Entwicklung eines Testinstruments zur Überprüfung und Weiterentwicklung eines normativen Modells fachbezogener Kompetenzen*
ISBN 978-3-8325-1630-7 40.50 EUR

64 Jasmin Neuroth: Concept Mapping als Lernstrategie. *Eine Interventionsstudie zum Chemielernen aus Texten*
ISBN 978-3-8325-1659-8 40.50 EUR

65 Hans Gerd Hegeler-Burkhart: Zur Kommunikation von Hauptschülerinnen und Hauptschülern in einem handlungsorientierten und fächerübergreifenden Unterricht mit physikalischen und technischen Inhalten
ISBN 978-3-8325-1667-3 40.50 EUR

66 Karsten Rincke: Sprachentwicklung und Fachlernen im Mechanikunterricht. *Sprache und Kommunikation bei der Einführung in den Kraftbegriff*
ISBN 978-3-8325-1699-4 40.50 EUR

67 Nina Strehle: Das Ion im Chemieunterricht. *Alternative Schülervorstellungen und curriculare Konsequenzen*
ISBN 978-3-8325-1710-6 40.50 EUR

68 Martin Hopf: Problemorientierte Schülerexperimente
ISBN 978-3-8325-1711-3 40.50 EUR

69 Anne Beerenwinkel: Fostering conceptual change in chemistry classes using expository texts
ISBN 978-3-8325-1721-2 40.50 EUR

70 Roland Berger: Das Gruppenpuzzle im Physikunterricht der Sekundarstufe II. *Eine empirische Untersuchung auf der Grundlage der Selbstbestimmungstheorie der Motivation*
ISBN 978-3-8325-1732-8 40.50 EUR

71 Giuseppe Colicchia: Physikunterricht im Kontext von Medizin und Biologie. *Entwicklung und Erprobung von Unterrichtseinheiten*
ISBN 978-3-8325-1746-5 40.50 EUR

72 Sandra Winheller: Geschlechtsspezifische Auswirkungen der Lehrer-Schüler-Interaktion im Chemieanfangsunterricht
ISBN 978-3-8325-1757-1 40.50 EUR

73 Isabel Wahser: Training von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-1815-8 40.50 EUR

74 Claus Brell: Lernmedien und Lernerfolg - reale und virtuelle Materialien im Physikunterricht. *Empirische Untersuchungen in achten Klassen an Gymnasien (Laborstudie) zum Computereinsatz mit Simulation und IBE*
ISBN 978-3-8325-1829-5 40.50 EUR

75 Rainer Wackermann: Überprüfung der Wirksamkeit eines Basismodell-Trainings für Physiklehrer
ISBN 978-3-8325-1882-0 40.50 EUR

76 Oliver Tepner: Effektivität von Aufgaben im Chemieunterricht der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-1919-3 40.50 EUR

77 Claudia Geyer: Museums- und Science-Center-Besuche im naturwissenschaftlichen Unterricht aus einer motivationalen Perspektive. *Die Sicht von Lehrkräften und Schülerinnen und Schülern*
ISBN 978-3-8325-1922-3 40.50 EUR

78 Tobias Leonhard: Professionalisierung in der Lehrerbildung. *Eine explorative Studie zur Entwicklung professioneller Kompetenzen in der Lehrererstausbildung*
ISBN 978-3-8325-1924-7 40.50 EUR

79 Alexander Kauertz: Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben
ISBN 978-3-8325-1925-4 40.50 EUR

80 Regina Hübinger: Schüler auf Weltreise. *Entwicklung und Evaluation von Lehr-/ Lernmaterialien zur Förderung experimentell-naturwissenschaftlicher Kompetenzen für die Jahrgangsstufen 5 und 6*
ISBN 978-3-8325-1932-2 40.50 EUR

81 Christine Waltner: Physik lernen im Deutschen Museum
ISBN 978-3-8325-1933-9 40.50 EUR

82 Torsten Fischer: Handlungsmuster von Physiklehrkräften beim Einsatz neuer Medien. *Fallstudien zur Unterrichtspraxis*
ISBN 978-3-8325-1948-3 42.00 EUR

83 Corinna Kieren: Chemiehausaufgaben in der Sekundarstufe I des Gymnasiums. *Fragebogenerhebung zur gegenwärtigen Praxis und Entwicklung eines optimierten Hausaufgabendesigns im Themenbereich Säure-Base*
978-3-8325-1975-9 37.00 EUR

84 Marco Thiele: Modelle der Thermohalinen Zirkulation im Unterricht. *Eine empirische Studie zur Förderung des Modellverständnisses*
ISBN 978-3-8325-1982-7 40.50 EUR

85 Bernd Zinn: Physik lernen, um Physik zu lehren. *Eine Möglichkeit für interessanteren Physikunterricht*
ISBN 978-3-8325-1995-7 39.50 EUR

86 Esther Klaes: Außerschulische Lernorte im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Die Perspektive der Lehrkraft*
ISBN 978-3-8325-2006-9 43.00 EUR

87 Marita Schmidt: Kompetenzmodellierung und -diagnostik im Themengebiet Energie der Sekundarstufe I. *Entwicklung und Erprobung eines Testinventars*
ISBN 978-3-8325-2024-3 37.00 EUR

88 Gudrun Franke-Braun: Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. *Ein Aufgabenformat zur Förderung der sachbezogenen Kommunikation und Lernleistung für den naturwissenschaftlichen Unterricht*
ISBN 978-3-8325-2026-7 38.00 EUR

89 Silke Klos: Kompetenzförderung im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht. *Der Einfluss eines integrierten Unterrichtskonzepts*
ISBN 978-3-8325-2133-2 37.00 EUR

90 Ulrike Elisabeth Burkard: Quantenphysik in der Schule. *Bestandsaufnahme, Perspektiven und Weiterentwicklungsmöglichkeiten durch die Implementation eines Medienservers*
ISBN 978-3-8325-2215-5 43.00 EUR

91 Ulrike Gromadecki: Argumente in physikalischen Kontexten. *Welche Geltungsgründe halten Physikanfänger für überzeugend?*
ISBN 978-3-8325-2250-6 41.50 EUR

92 Jürgen Bruns: Auf dem Weg zur Förderung naturwissenschaftsspezifischer Vorstellungen von zukünftigen Chemie-Lehrenden
ISBN 978-3-8325-2257-5 43.50 EUR

93 Cornelius Marsch: Räumliche Atomvorstellung. *Entwicklung und Erprobung eines Unterrichtskonzeptes mit Hilfe des Computers*
ISBN 978-3-8325-2293-3 82.50 EUR

94 Maja Brückmann: Sachstrukturen im Physikunterricht. *Ergebnisse einer Videostudie*
ISBN 978-3-8325-2272-8 39.50 EUR

95 Sabine Fechner: Effects of Context-oriented Learning on Student Interest and Achievement in Chemistry Education
ISBN 978-3-8325-2343-5 36.50 EUR

96 Clemens Nagel: eLearning im Physikalischen Anfängerpraktikum
ISBN 978-3-8325-2355-8 39.50 EUR

97 Josef Riese: Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften
ISBN 978-3-8325-2376-3 39.00 EUR

98 Sascha Bernholt: Kompetenzmodellierung in der Chemie. *Theoretische und empirische Reflexion am Beispiel des Modells hierarchischer Komplexität*
ISBN 978-3-8325-2447-0 40.00 EUR

99 Holger Christoph Stawitz: Auswirkung unterschiedlicher Aufgabenprofile auf die Schülerleistung. *Vergleich von Naturwissenschafts- und Problemlöseaufgaben der PISA 2003-Studie*
ISBN 978-3-8325-2451-7 37.50 EUR

100 Hans Ernst Fischer, Elke Sumfleth (Hrsg.): nwu-essen – 10 Jahre Essener Forschung zum naturwissenschaftlichen Unterricht
ISBN 978-3-8325-3331-1 40.00 EUR

101 Hendrik Härtig: Sachstrukturen von Physikschulbüchern als Grundlage zur Bestimmung der Inhaltsvalidität eines Tests
ISBN 978-3-8325-2512-5 34.00 EUR

102 Thomas Grüß-Niehaus: Zum Verständnis des Löslichkeitskonzeptes im Chemieunterricht. *Der Effekt von Methoden progressiver und kollaborativer Reflexion*
ISBN 978-3-8325-2537-8 40.50 EUR

103 Patrick Bronner: Quantenoptische Experimente als Grundlage eines Curriculums zur Quantenphysik des Photons
ISBN 978-3-8325-2540-8 36.00 EUR

104 Adrian Voßkühler: Blickbewegungsmessung an Versuchsaufbauten. *Studien zur Wahrnehmung, Verarbeitung und Usability von physikbezogenen Experimenten am Bildschirm und in der Realität*
ISBN 978-3-8325-2548-4 47.50 EUR

105 Verena Tobias: Newton'sche Mechanik im Anfangsunterricht. *Die Wirksamkeit einer Einführung über die zweidimensionale Dynamik auf das Lehren und Lernen*
ISBN 978-3-8325-2558-3 54.00 EUR

106 Christian Rogge: Entwicklung physikalischer Konzepte in aufgabenbasierten Lernumgebungen
ISBN 978-3-8325-2574-3 45.00 EUR

107 Mathias Ropohl: Modellierung von Schülerkompetenzen im Basiskonzept Chemische Reaktion. *Entwicklung und Analyse von Testaufgaben*
ISBN 978-3-8325-2609-2 36.50 EUR

108 Christoph Kulgemeyer: Physikalische Kommunikationskompetenz. *Modellierung und Diagnostik*
ISBN 978-3-8325-2674-0 44.50 EUR

109 Jennifer Olszewski: The Impact of Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge on Teacher Actions and Student Outcomes
ISBN 978-3-8325-2680-1 33.50 EUR

110 Annika Ohle: Primary School Teachers' Content Knowledge in Physics and its Impact on Teaching and Students' Achievement
ISBN 978-3-8325-2684-9 36.50 EUR

111 Susanne Mannel: Assessing scientific inquiry. *Development and evaluation of a test for the low-performing stage*
ISBN 978-3-8325-2761-7 40.00 EUR

112 Michael Plomer: Physik physiologisch passend praktiziert. *Eine Studie zur Lernwirksamkeit von traditionellen und adressatenspezifischen Physikpraktika für die Physiologie*
ISBN 978-3-8325-2804-1 34.50 EUR

113 Alexandra Schulz: Experimentierspezifische Qualitätsmerkmale im Chemieunterricht. *Eine Videostudie*
ISBN 978-3-8325-2817-1 40.00 EUR

114 Franz Boczianowski: Eine empirische Untersuchung zu Vektoren im Physikunterricht der Mittelstufe
ISBN 978-3-8325-2843-0 39.50 EUR

115 Maria Ploog: Internetbasiertes Lernen durch Textproduktion im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-2853-9 39.50 EUR

116 Anja Dhein: Lernen in Explorier- und Experimentiersituationen. *Eine explorative Studie zu Bedeutungsentwicklungsprozessen bei Kindern im Alter zwischen 4 und 6 Jahren*
ISBN 978-3-8325-2859-1 45.50 EUR

117 Irene Neumann: Beyond Physics Content Knowledge. *Modeling Competence Regarding Nature of Scientific Inquiry and Nature of Scientific Knowledge*
ISBN 978-3-8325-2880-5 37.00 EUR

118 Markus Emden: Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens. *Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I*
ISBN 978-3-8325-2867-6 38.00 EUR

119 Birgit Hofmann: Analyse von Blickbewegungen von Schülern beim Lesen von physikbezogenen Texten mit Bildern. *Eye Tracking als Methodenwerkzeug in der physikdidaktischen Forschung*
ISBN 978-3-8325-2925-3 59.00 EUR

120 Rebecca Knobloch: Analyse der fachinhaltlichen Qualität von Schüleräußerungen und deren Einfluss auf den Lernerfolg. *Eine Videostudie zu kooperativer Kleingruppenarbeit*
ISBN 978-3-8325-3006-8 36.50 EUR

121 Julia Hostenbach: Entwicklung und Prüfung eines Modells zur Beschreibung der Bewertungskompetenz im Chemieunterricht
ISBN 978-3-8325-3013-6 38.00 EUR

122 Anna Windt: Naturwissenschaftliches Experimentieren im Elementarbereich. *Evaluation verschiedener Lernsituationen*
ISBN 978-3-8325-3020-4 43.50 EUR

123 Eva Kölbach: Kontexteinflüsse beim Lernen mit Lösungsbeispielen
ISBN 978-3-8325-3025-9 38.50 EUR

124 Anna Lau: Passung und vertikale Vernetzung im Chemie- und Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-3021-1 36.00 EUR

125 Jan Lamprecht: Ausbildungswege und Komponenten professioneller Handlungskompetenz. *Vergleich von Quereinsteigern mit Lehramtsabsolventen für Gymnasien im Fach Physik*
ISBN 978-3-8325-3035-8 38.50 EUR

126 Ulrike Böhm: Förderung von Verstehensprozessen unter Einsatz von Modellen
ISBN 978-3-8325-3042-6 41.00 EUR

127 Sabrina Dollny: Entwicklung und Evaluation eines Testinstruments zur Erfassung des fachspezifischen Professionswissens von Chemielehrkräften
ISBN 978-3-8325-3046-4 37.00 EUR

128 Monika Zimmermann: Naturwissenschaftliche Bildung im Kindergarten. *Eine integrative Längsschnittstudie zur Kompetenzentwicklung von Erzieherinnen*
ISBN 978-3-8325-3053-2 54.00 EUR

129 Ulf Saballus: Über das Schlussfolgern von Schülerinnen und Schülern zu öffentlichen Kontroversen mit naturwissenschaftlichem Hintergrund. *Eine Fallstudie*
ISBN 978-3-8325-3086-0 39.50 EUR

130 Olaf Krey: Zur Rolle der Mathematik in der Physik. *Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender*
ISBN 978-3-8325-3101-0 46.00 EUR

131 Angelika Wolf: Zusammenhänge zwischen der Eigenständigkeit im Physikunterricht, der Motivation, den Grundbedürfnissen und dem Lernerfolg von Schülern
ISBN 978-3-8325-3161-4 45.00 EUR

132 Johannes Börlin: Das Experiment als Lerngelegenheit. *Vom interkulturellen Vergleich des Physikunterrichts zu Merkmalen seiner Qualität*
ISBN 978-3-8325-3170-6 45.00 EUR

133 Olaf Uhden: Mathematisches Denken im Physikunterricht. *Theorieentwicklung und Problemanalyse*
ISBN 978-3-8325-3170-6 45.00 EUR

134 Christoph Gut: Modellierung und Messung experimenteller Kompetenz. *Analyse eines large-scale Experimentiertests*
ISBN 978-3-8325-3213-0 40.00 EUR

135 Antonio Rueda: Lernen mit ExploMultimedial in kolumbianischen Schulen. *Analyse von kurzzeitigen Lernprozessen und der Motivation beim länderübergreifenden Einsatz einer deutschen computergestützten multimedialen Lernumgebung für den naturwissenschaftlichen Unterricht*
ISBN 978-3-8325-3218-5 45.50 EUR

136 Krisztina Berger: Bilder, Animationen und Notizen. *Empirische Untersuchung zur Wirkung einfacher visueller Repräsentationen und Notizen auf den Wissenserwerb in der Optik*
ISBN 978-3-8325-3238-3 41.50 EUR

137 Antony Crossley: Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher physikalischer Konzepte auf den Wissenserwerb in der Thermodynamik der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-3275-8 40.00 EUR

138 Tobias Viering: Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I. *Validierung eines Kompetenzentwicklungsmodells für das Energiekonzept im Bereich Fachwissen*
ISBN 978-3-8325-3277-2 37.00 EUR

139 Nico Schreiber: Diagnostik experimenteller Kompetenz. *Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells*
ISBN 978-3-8325-3284-0 39.00 EUR

140 Sarah Hundertmark: Einblicke in kollaborative Lernprozesse. *Eine Fallstudie zur reflektierenden Zusammenarbeit unterstützt durch die Methoden Concept Mapping und Lernbegleitbogen*
ISBN 978-3-8325-3251-2 43.00 EUR

141 Ronny Scherer: Analyse der Struktur, Messinvarianz und Ausprägung komplexer Problemlösekompetenz im Fach Chemie. *Eine Querschnittstudie in der Sekundarstufe I und am Übergang zur Sekundarstufe II*
ISBN 978-3-8325-3312-0 43.00 EUR

142 Patricia Heitmann: Bewertungskompetenz im Rahmen naturwissenschaftlicher Problemlöseprozesse. *Modellierung und Diagnose der Kompetenzen Bewertung und analytisches Problemlösen für das Fach Chemie*
ISBN 978-3-8325-3314-4 37.00 EUR

143 Jan Fleischhauer: Wissenschaftliches Argumentieren und Entwicklung von Konzepten beim Lernen von Physik
ISBN 978-3-8325-3325-0 35.00 EUR

144 Nermin Özcan: Zum Einfluss der Fachsprache auf die Leistung im Fach Chemie. *Eine Förderstudie zur Fachsprache im Chemieunterricht*
ISBN 978-3-8325-3328-1 36.50 EUR

145 Helena van Vorst: Kontextmerkmale und ihr Einfluss auf das Schülerinteresse im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-3321-2 38.50 EUR

146 Janine Cappell: Fachspezifische Diagnosekompetenz angehender Physiklehrkräfte in der ersten Ausbildungsphase
ISBN 978-3-8325-3356-4 38.50 EUR

147 Susanne Bley: Förderung von Transferprozessen im Chemieunterricht
ISBN 978-3-8325-3407-3 40.50 EUR

148 Cathrin Blaes: Die übungsgestützte Lehrerpräsentation im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Evaluation der Effektivität*
ISBN 978-3-8325-3409-7 43.50 EUR

149 Julia Suckut: Die Wirksamkeit von piko-OWL als Lehrerfortbildung. Eine Evaluation zum Projekt *Physik im Kontext* in Fallstudien
ISBN 978-3-8325-3440-0 45.00 EUR

150 Alexandra Dorschu: Die Wirkung von Kontexten in Physikkompetenztestaufgaben
ISBN 978-3-8325-3446-2 37.00 EUR

151 Jochen Scheid: Multiple Repräsentationen, Verständnis physikalischer Experimente und kognitive Aktivierung: *Ein Beitrag zur Entwicklung der Aufgabenkultur*
ISBN 978-3-8325-3449-3 49.00 EUR

152 Tim Plasa: Die Wahrnehmung von Schülerlaboren und Schülerforschungszentren
ISBN 978-3-8325-3483-7 35.50 EUR

153 Felix Schoppmeier: Physikkompetenz in der gymnasialen Oberstufe.*Entwicklung und Validierung eines Kompetenzstrukturmodells für den Kompetenzbereich Umgang mit Fachwissen*
ISBN 978-3-8325-3502-5 36.00 EUR

154 Katharina Groß: Experimente alternativ dokumentieren. *Eine qualitative Studie zur Förderung der Diagnose- und Differenzierungskompetenz in der Chemielehrerbildung*
ISBN 978-3-8325-3508-7 43.50 EUR

155 Barbara Hank: Konzeptwandelprozesse im Anfangsunterricht Chemie. *Eine quasiexperimentelle Längsschnittstudie*
ISBN 978-3-8325-3519-3 38.50 EUR

156 Katja Freyer: Zum Einfluss von Studieneingangsvoraussetzungen auf den Studienerfolg Erstsemesterstudierender im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-3544-5 38.00 EUR

157 Alexander Rachel: Auswirkungen instruktionaler Hilfen bei der Einführung des (Ferro-)Magnetismus. *Eine Vergleichsstudie in der Primar- und Sekundarstufe*
ISBN 978-3-8325-3548-3 43.50 EUR

158 Sebastian Ritter: Einfluss des Lerninhalts Nanogrößeneffekte auf Teilchen- und Teilchenmodellvorstellungen von Schülerinnen und Schülern
ISBN 978-3-8325-3558-2 36.00 EUR

159 Andrea Harbach: Problemorientierung und Vernetzung in kontextbasierten Lernaufgaben
ISBN 978-3-8325-3564-3 39.00 EUR

160 David Obst: Interaktive Tafeln im Physikunterricht. *Entwicklung und Evaluation einer Lehrerfortbildung*
ISBN 978-3-8325-3582-7 40.50 EUR

161 Sophie Kirschner: Modellierung und Analyse des Professionswissens von Physiklehrkräften
ISBN 978-3-8325-3601-5 35.00 EUR

162 Katja Stief: Selbstregulationsprozesse und Hausaufgabenmotivation im Chemieunterricht
ISBN 978-3-8325-3631-2 34.00 EUR

163 Nicola Meschede: Professionelle Wahrnehmung der inhaltlichen Strukturierung im naturwissenschaftlichen Grundschulunterricht. *Theoretische Beschreibung und empirische Erfassung*
ISBN 978-3-8325-3668-8 37.00 EUR

164 Johannes Maximilian Barth: Experimentieren im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. *Eine Rekonstruktion übergeordneter Einbettungsstrategien*
ISBN 978-3-8325-3681-7 39.00 EUR

165 Sandra Lein: Das Betriebspraktikum in der Lehrerbildung. *Eine Untersuchung zur Förderung der Wissenschafts- und Technikbildung im allgemeinbildenden Unterricht*
ISBN 978-3-8325-3698-5 40.00 EUR

166 Veranika Maiseyenka: Modellbasiertes Experimentieren im Unterricht. *Praxistauglichkeit und Lernwirkungen*
ISBN 978-3-8325-3708-1 38.00 EUR

167 Christoph Stolzenberger: Der Einfluss der didaktischen Lernumgebung auf das Erreichen geforderter Bildungsziele am Beispiel der W- und P-Seminare im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-3708-1 38.00 EUR

168 Pia Altenburger: Mehrebenenregressionsanalysen zum Physiklernen im Sachunterricht der Primarstufe. *Ergebnisse einer Evaluationsstudie.*
ISBN 978-3-8325-3717-3 37.50 EUR

169 Nora Ferber: Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zur Erfassung von Kompetenzentwicklung im Fach Chemie in der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-3727-2 39.50 EUR

170 Anita Stender: Unterrichtsplanung: Vom Wissen zum Handeln.
Theoretische Entwicklung und empirische Überprüfung des Transformationsmodells der Unterrichtsplanung
ISBN 978-3-8325-3750-0 41.50 EUR

171 Jenna Koenen: Entwicklung und Evaluation von experimentunterstützten Lösungsbeispielen zur Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen
ISBN 978-3-8325-3785-2 43.00 EUR

172 Teresa Henning: Empirische Untersuchung kontextorientierter Lernumgebungen in der Hochschuldidaktik. *Entwicklung und Evaluation kontextorientierter Aufgaben in der Studieneingangsphase für Fach- und Nebenfachstudierende der Physik*
ISBN 978-3-8325-3801-9 43.00 EUR

173 Alexander Pusch: Fachspezifische Instrumente zur Diagnose und individuellen Förderung von Lehramtsstudierenden der Physik
ISBN 978-3-8325-3829-3 38.00 EUR

174 Christoph Vogelsang: Validierung eines Instruments zur Erfassung der professionellen Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften. *Zusammenhangsanalysen zwischen Lehrerkompetenz und Lehrerperformanz*
ISBN 978-3-8325-3846-0 50.50 EUR

175 Ingo Brebeck: Selbstreguliertes Lernen in der Studieneingangsphase im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-3859-0 37.00 EUR

176 Axel Eghtessad: Merkmale und Strukturen von Professionalisierungsprozessen in der ersten und zweiten Phase der Chemielehrerbildung. *Eine empirisch-qualitative Studie mit niedersächsischen Fachleiter_innen der Sekundarstufenlehrämter*
ISBN 978-3-8325-3861-3 45.00 EUR

177 Andreas Nehring: Wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen im Fach Chemie. Eine kompetenzorientierte Modell- und Testentwicklung für den Bereich der Erkenntnisgewinnung
ISBN 978-3-8325-3872-9 39.50 EUR

178 Maike Schmidt: Professionswissen von Sachunterrichtslehrkräften. Zusammenhangsanalyse zur Wirkung von Ausbildungshintergrund und Unterrichtserfahrung auf das fachspezifische Professionswissen im Unterrichtsinhalt „Verbrennung“
ISBN 978-3-8325-3907-8 38.50 EUR

179 Jan Winkelmann: Auswirkungen auf den Fachwissenszuwachs und auf affektive Schülermerkmale durch Schüler- und Demonstrationsexperimente im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-3915-3 41.00 EUR

180 Iwen Kobow: Entwicklung und Validierung eines Testinstrumentes zur Erfassung der Kommunikationskompetenz im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-3927-6 34.50 EUR

181 Yvonne Gramzow: Fachdidaktisches Wissen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik. Modellierung und Testkonstruktion
ISBN 978-3-8325-3931-3 42.50 EUR

182 Evelin Schröter: Entwicklung der Kompetenzerwartung durch Lösen physikalischer Aufgaben einer multimedialen Lernumgebung
ISBN 978-3-8325-3975-7 54.50 EUR

183 Inga Kallweit: Effektivität des Einsatzes von Selbsteinschätzungsbögen im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Individuelle Förderung durch selbstreguliertes Lernen*
ISBN 978-3-8325-3965-8 44.00 EUR

184 Andrea Schumacher: Paving the way towards authentic chemistry teaching. *A contribution to teachers' professional development*
ISBN 978-3-8325-3976-4 48.50 EUR

185 David Woitkowski: Fachliches Wissen Physik in der Hochschulausbildung. *Konzeptualisierung, Messung, Niveaubildung*
ISBN 978-3-8325-3988-7 53.00 EUR

186 Marianne Korner: Cross-Age Peer Tutoring in Physik. *Evaluation einer Unterrichtsmethode*
ISBN 978-3-8325-3979-5 38.50 EUR

187 Simone Nakoinz: Untersuchung zur Verknüpfung submikroskopischer und makroskopischer Konzepte im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4057-9 38.50 EUR

188 Sandra Anus: Evaluation individueller Förderung im Chemieunterricht.*Adaptivität von Lerninhalten an das Vorwissen von Lernenden am Beispiel des Basiskonzeptes Chemische Reaktion*
ISBN 978-3-8325-4059-3 43.50 EUR

189 Thomas Roßbegalle: Fachdidaktische Entwicklungsforschung zum besseren Verständnis atmosphärischer Phänomene. *Treibhauseffekt, saurer Regen und stratosphärischer Ozonabbau als Kontexte zur Vermittlung von Basiskonzepten der Chemie*
ISBN 978-3-8325-4059-3 45.50 EUR

190 Kathrin Steckenmesser-Sander: Gemeinsamkeiten und Unterschiede physikbezogener Handlungs-, Denk- und Lernprozesse von Mädchen und Jungen
ISBN 978-3-8325-4066-1 38.50 EUR

191 Cornelia Geller: Lernprozessorientierte Sequenzierung des Physikunterrichts im Zusammenhang mit Fachwissenserwerb. *Eine Videostudie in Finnland, Deutschland und der Schweiz*
ISBN 978-3-8325-4082-1 35.50 EUR

192 Jan Hofmann: Untersuchung des Kompetenzaufbaus von Physiklehrkräften während einer Fortbildungsmaßnahme
ISBN 978-3-8325-4104-0 38.50 EUR

193 Andreas Dickhäuser: Chemiespezifischer Humor. *Theoriebildung, Materialentwicklung, Evaluation*
ISBN 978-3-8325-4108-8 37.00 EUR

194 Stefan Korte: Die Grenzen der Naturwissenschaft als Thema des Physikunterrichts
ISBN 978-3-8325-4112-5 57.50 EUR

195 Carolin Hülsmann: Kurswahlmotive im Fach Chemie. Eine Studie zum Wahlverhalten und Erfolg von Schülerinnen und Schülern in der gymnasialen Oberstufe
ISBN 978-3-8325-4144-6 49.00 EUR

196 Caroline Körbs: Mindeststandards im Fach Chemie am Ende der Pflichtschulzeit
ISBN 978-3-8325-4148-4 34.00 EUR

197 Andreas Vorholzer: Wie lassen sich Kompetenzen des experimentellen Denkens und Arbeitens fördern? *Eine empirische Untersuchung der Wirkung eines expliziten und eines impliziten Instruktionsansatzes*
ISBN 978-3-8325-4194-1 37.50 EUR

198 Anna Katharina Schmitt: Entwicklung und Evaluation einer Chemielehrerfortbildung zum Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung
ISBN 978-3-8325-4228-3 39.50 EUR

199 Christian Maurer: Strukturierung von Lehr-Lern-Sequenzen
ISBN 978-3-8325-4247-4 36.50 EUR

200 Helmut Fischler, Elke Sumfleth (Hrsg.): Professionelle Kompetenz von Lehrkräften der Chemie und Physik
ISBN 978-3-8325-4523-9 34.00 EUR

201 Simon Zander: Lehrerfortbildung zu Basismodellen und Zusammenhänge zum Fachwissen
ISBN 978-3-8325-4248-1 35.00 EUR

202 Kerstin Arndt: Experimentierkompetenz erfassen.
Analyse von Prozessen und Mustern am Beispiel von Lehramtsstudierenden der Chemie
ISBN 978-3-8325-4266-5 45.00 EUR

203 Christian Lang: Kompetenzorientierung im Rahmen experimentalchemischer Praktika
ISBN 978-3-8325-4268-9 42.50 EUR

204 Eva Cauet: Testen wir relevantes Wissen? *Zusammenhang zwischen dem Professionswissen von Physiklehrkräften und gutem und erfolgreichem Unterrichten*
ISBN 978-3-8325-4276-4 39.50 EUR

205 Patrick Löffler: Modellanwendung in Problemlöseaufgaben. *Wie wirkt Kontext?*
ISBN 978-3-8325-4303-7 35.00 EUR

206 Carina Gehlen: Kompetenzstruktur naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4318-1 43.00 EUR

207 Lars Oettinghaus: Lehrerüberzeugungen und physikbezogenes Professionswissen. *Vergleich von Absolventinnen und Absolventen verschiedener Ausbildungswege im Physikreferendariat*
ISBN 978-3-8325-4319-8 38.50 EUR

208 Jennifer Petersen: Zum Einfluss des Merkmals Humor auf die Gesundheitsförderung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I.
Eine Interventionsstudie zum Thema Sonnenschutz
ISBN 978-3-8325-4348-8 40.00 EUR

209 Philipp Straube: Modellierung und Erfassung von Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung bei (Lehramts-) Studierenden im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-4351-8 35.50 EUR

210 Martin Dickmann: Messung von Experimentierfähigkeiten. *Validierungsstudien zur Qualität eines computerbasierten Testverfahrens*
ISBN 978-3-8325-4356-3 41.00 EUR

211 Markus Bohlmann: Science Education. Empirie, Kulturen und Mechanismen der Didaktik der Naturwissenschaften
ISBN 978-3-8325-4377-8 44.00 EUR

212 Martin Draude: Die Kompetenz von Physiklehrkräften, Schwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern beim eigenständigen Experimentieren zu diagnostizieren
ISBN 978-3-8325-4382-2 37.50 EUR

213 Henning Rode: Prototypen evidenzbasierten Physikunterrichts. *Zwei empirische Studien zum Einsatz von Feedback und Blackboxes in der Sekundarstufe*
ISBN 978-3-8325-4389-1 42.00 EUR

214 Jan-Henrik Kechel: Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren. *Eine qualitative Studie am Beispiel einer Experimentieraufgabe zum Hooke'schen Gesetz*
ISBN 978-3-8325-4392-1 55.00 EUR

215 Katharina Fricke: Classroom Management and its Impact on Lesson Outcomes in Physics. *A multi-perspective comparison of teaching practices in primary and secondary schools*
ISBN 978-3-8325-4394-5 40.00 EUR

216 Hannes Sander: Orientierungen von Jugendlichen beim Urteilen und Entscheiden in Kontexten nachhaltiger Entwicklung. *Eine rekonstruktive Perspektive auf Bewertungskompetenz in der Didaktik der Naturwissenschaft*
ISBN 978-3-8325-4434-8 46.00 EUR

217 Inka Haak: Maßnahmen zur Unterstützung kognitiver und metakognitiver Prozesse in der Studieneingangsphase. *Eine Design-Based-Research-Studie zum universitären Lernzentrum Physiktreff*
ISBN 978-3-8325-4437-9 46.50 EUR

218 Martina Brandenburger: Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik? *Eine Untersuchung mit Studierenden*
ISBN 978-3-8325-4409-6 42.50 EUR

219 Corinna Helms: Entwicklung und Evaluation eines Trainings zur Verbesserung der Erklärqualität von Schülerinnen und Schülern im Gruppenpuzzle
ISBN 978-3-8325-4454-6 42.50 EUR

220 Viktoria Rath: Diagnostische Kompetenz von angehenden Physiklehrkräften. *Modellierung, Testinstrumentenentwicklung und Erhebung der Performanz bei der Diagnose von Schülervorstellungen in der Mechanik*
ISBN 978-3-8325-4456-0 42.50 EUR

221 Janne Krüger: Schülerperspektiven auf die zeitliche Entwicklung der Naturwissenschaften
ISBN 978-3-8325-4457-7 45.50 EUR

222 Stefan Mutke: Das Professionswissen von Chemiereferendarinnen und -referendaren in Nordrhein-Westfalen. *Eine Längsschnittstudie*
ISBN 978-3-8325-4458-4 37.50 EUR

223 Sebastian Habig: Systematisch variierte Kontextaufgaben und ihr Einfluss auf kognitive und affektive Schülerfaktoren
ISBN 978-3-8325-4467-6 40.50 EUR

224 Sven Liepertz: Zusammenhang zwischen dem Professionswissen von Physiklehrkräften, dem sachstrukturellen Angebot des Unterrichts und der Schülerleistung
ISBN 978-3-8325-4480-5 34.00 EUR

225 Elina Platova: Optimierung eines Laborpraktikums durch kognitive Aktivierung
ISBN 978-3-8325-4481-2 39.00 EUR

226 Tim Reschke: Lesegeschichten im Chemieunterricht der Sekundarstufe I zur Unterstützung von situationalem Interesse und Lernerfolg
ISBN 978-3-8325-4487-4 41.00 EUR

227 Lena Mareike Walper: Entwicklung der physikbezogenen Interessen und selbstbezogenen Kognitionen von Schülerinnen und Schülern in der Übergangsphase von der Primar- in die Sekundarstufe. *Eine Längsschnittanalyse vom vierten bis zum siebten Schuljahr*
ISBN 978-3-8325-4495-9 43.00 EUR

228 Stefan Anthofer: Förderung des fachspezifischen Professionswissens von Chemielehramtsstudierenden
ISBN 978-3-8325-4498-0 39.50 EUR

229 Marcel Bullinger: Handlungsorientiertes Physiklernen mit instruierten Selbsterklärungen in der Primarstufe. *Eine experimentelle Laborstudie*
ISBN 978-3-8325-4504-8 44.00 EUR

230 Thomas Amenda: Bedeutung fachlicher Elementarisierungen für das Verständnis der Kinematik
ISBN 978-3-8325-4531-4 43.50 EUR

231 Sabrina Milke: Beeinflusst *Priming* das Physiklernen?
Eine empirische Studie zum Dritten Newtonschen Axiom
ISBN 978-3-8325-4549-4 42.00 EUR

232 Corinna Erfmann: Ein anschaulicher Weg zum Verständnis der elektromagnetischen Induktion. *Evaluation eines Unterrichtsvorschlags und Validierung eines Leistungsdiagnoseinstruments*
ISBN 978-3-8325-4550-5 49.50 EUR

233 Hanne Rautenstrauch: Erhebung des (Fach-)Sprachstandes bei Lehramtsstudierenden im Kontext des Faches Chemie
ISBN 978-3-8325-4556-7 40.50 EUR

234 Tobias Klug: Wirkung kontextorientierter physikalischer Praktikumsversuche auf Lernprozesse von Studierenden der Medizin
ISBN 978-3-8325-4558-1 37.00 EUR

235 Mareike Bohrmann: Zur Förderung des Verständnisses der Variablenkontrolle im naturwissenschaftlichen Sachunterricht
ISBN 978-3-8325-4559-8 52.00 EUR

236 Anja Schödl: FALKO-Physik – Fachspezifische Lehrerkompetenzen im Fach Physik. *Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zur Erfassung des fachspezifischen Professionswissens von Physiklehrkräften*
ISBN 978-3-8325-4553-6 40.50 EUR

237 Hilda Scheuermann: Entwicklung und Evaluation von Unterstützungsmaßnahmen zur Förderung der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten
ISBN 978-3-8325-4568-0 39.00 EUR

238 Christian G. Strippel: Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung an chemischen Inhalten vermitteln. *Konzeption und empirische Untersuchung einer Ausstellung mit Experimentierstation*
ISBN 978-3-8325-4577-2 41.50 EUR

239 Sarah Rau: Durchführung von Sachunterricht im Vorbereitungsdienst. *Eine längsschnittliche, videobasierte Unterrichtsanalyse*
ISBN 978-3-8325-4579-6 46.00 EUR

240 Thomas Plotz: Lernprozesse zu nicht-sichtbarer Strahlung. *Empirische Untersuchungen in der Sekundarstufe 2*
ISBN 978-3-8325-4624-3 39.50 EUR

241 Wolfgang Aschauer: Elektrische und magnetische Felder. *Eine empirische Studie zu Lernprozessen in der Sekundarstufe II*
ISBN 978-3-8325-4625-0 50.00 EUR

242 Anna Donhauser: Didaktisch rekonstruierte Materialwissenschaft. *Aufbau und Konzeption eines Schülerlabors für den Exzellenzcluster Engineering of Advanced Materials*
ISBN 978-3-8325-4636-6 39.00 EUR

243 Katrin Schüßler: Lernen mit Lösungsbeispielen im Chemieunterricht. *Einflüsse auf Lernerfolg, kognitive Belastung und Motivation*
ISBN 978-3-8325-4640-3 42.50 EUR

244 Timo Fleischer: Untersuchung der chemischen Fachsprache unter besonderer Berücksichtigung chemischer Repräsentationen
ISBN 978-3-8325-4642-7 46.50 EUR

245 Rosina Steininger: Concept Cartoons als Stimuli für Kleingruppendiskussionen im Chemieunterricht. *Beschreibung und Analyse einer komplexen Lerngelegenheit*
ISBN 978-3-8325-4647-2 39.00 EUR

246 Daniel Rehfeldt: Erfassung der Lehrqualität naturwissenschaftlicher Experimentalpraktika
ISBN 978-3-8325-4590-1 40.00 EUR

247 Sandra Puddu: Implementing Inquiry-based Learning in a Diverse Classroom: Investigating Strategies of Scaffolding and Students' Views of Scientific Inquiry
ISBN 978-3-8325-4591-8 35.50 EUR

248 Markus Bliersbach: Kreativität in der Chemie. *Erhebung und Förderung der Vorstellungen von Chemielehramtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-4593-2 44.00 EUR

249 Lennart Kimpel: Aufgaben in der Allgemeinen Chemie. *Zum Zusammenspiel von chemischem Verständnis und Rechenfähigkeit*
ISBN 978-3-8325-4618-2 36.00 EUR

250 Louise Bindel: Effects of integrated learning: explicating a mathematical concept in inquiry-based science camps
ISBN 978-3-8325-4655-7 37.50 EUR

251 Michael Wenzel: Computereinsatz in Schule und Schülerlabor. *Einstellung von Physiklehrkräften zu Neuen Medien*
ISBN 978-3-8325-4659-5 38.50 EUR

252 Laura Muth: Einfluss der Auswertephase von Experimenten im Physikunterricht. *Ergebnisse einer Interventionsstudie zum Zuwachs von Fachwissen und experimenteller Kompetenz von Schülerinnen und Schülern*
ISBN 978-3-8325-4675-5 36.50 EUR

253 Annika Fricke: Interaktive Skripte im Physikalischen Praktikum. *Entwicklung und Evaluation von Hypermedien für die Nebenfachausbildung*
ISBN 978-3-8325-4676-2 41.00 EUR

254 Julia Haase: Selbstbestimmtes Lernen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. *Eine empirische Interventionsstudie mit Fokus auf Feedback und Kompetenzerleben*
ISBN 978-3-8325-4685-4 38.50 EUR

255 Antje J. Heine: Was ist Theoretische Physik? *Eine wissenschaftstheoretische Betrachtung und Rekonstruktion von Vorstellungen von Studierenden und Dozenten über das Wesen der Theoretischen Physik*
ISBN 978-3-8325-4691-5 46.50 EUR

256 Claudia Meinhardt: Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zu Selbstwirksamkeitserwartungen von (angehenden) Physiklehrkräften in physikdidaktischen Handlungsfeldern
ISBN 978-3-8325-4712-7 47.00 EUR

257 Ann-Kathrin Schlüter: Professionalisierung angehender Chemielehrkräfte für einen Gemeinsamen Unterricht
ISBN 978-3-8325-4713-4 53.50 EUR

258 Stefan Richtberg: Elektronenbahnen in Feldern. Konzeption und Evaluation einer webbasierten Lernumgebung
ISBN 978-3-8325-4723-3 49.00 EUR

259 Jan-Philipp Burde: Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells
ISBN 978-3-8325-4726-4 57.50 EUR

260 Frank Finkenberg: Flipped Classroom im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-4737-4 42.50 EUR

261 Florian Treisch: Die Entwicklung der Professionellen Unterrichtswahrnehmung im Lehr-Lern-Labor Seminar
ISBN 978-3-8325-4741-4 41.50 EUR

262 Desiree Mayr: Strukturiertheit des experimentellen naturwissenschaftlichen Problemlöseprozesses
ISBN 978-3-8325-4757-8 37.00 EUR

263 Katrin Weber: Entwicklung und Validierung einer Learning Progression für das Konzept der chemischen Reaktion in der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-4762-2 48.50 EUR

264 Hauke Bartels: Entwicklung und Bewertung eines performanznahen Videovignettentests zur Messung der Erklärfähigkeit von Physiklehrkräften
ISBN 978-3-8325-4804-9 37.00 EUR

265 Karl Marniok: Zum Wesen von Theorien und Gesetzen in der Chemie. *Begriffsanalyse und Förderung der Vorstellungen von Lehramtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-4805-6 42.00 EUR

266 Marisa Holzapfel: Fachspezifischer Humor als Methode in der Gesundheitsbildung im Übergang von der Primarstufe zur Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-4808-7 50.00 EUR

267 Anna Stolz: Die Auswirkungen von Experimentiersituationen mit unterschiedlichem Öffnungsgrad auf Leistung und Motivation der Schülerinnen und Schüler
ISBN 978-3-8325-4781-3 38.00 EUR

268 Nina Ulrich: Interaktive Lernaufgaben in dem digitalen Schulbuch eChemBook. *Einfluss des Interaktivitätsgrads der Lernaufgaben und des Vorwissens der Lernenden auf den Lernerfolg*
ISBN 978-3-8325-4814-8 43.50 EUR

269 Kim-Alessandro Weber: Quantenoptik in der Lehrerfortbildung. *Ein bedarfsgeprägtes Fortbildungskonzept zum Quantenobjekt „Photon“ mit Realexperimenten*
ISBN 978-3-8325-4792-9 55.00 EUR

270 Nina Skorsetz: Empathisierer und Systematisierer im Vorschulalter. *Eine Fragebogen- und Videostudie zur Motivation, sich mit Naturphänomenen zu beschäftigen*
ISBN 978-3-8325-4825-4 43.50 EUR

271 Franziska Kehne: Analyse des Transfers von kontextualisiert erworbenem Wissen im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4846-9 45.00 EUR

272 Markus Elsholz: Das akademische Selbstkonzept angehender Physiklehrkräfte als Teil ihrer professionellen Identität. *Dimensionalität und Veränderung während einer zentralen Praxisphase*
ISBN 978-3-8325-4857-5 37.50 EUR

273 Joachim Müller: Studienerfolg in der Physik. *Zusammenhang zwischen Modellierungskompetenz und Studienerfolg*
ISBN 978-3-8325-4859-9 35.00 EUR

274 Jennifer Dörschelln: Organische Leuchtdioden. *Implementation eines innovativen Themas in den Chemieunterricht*
ISBN 978-3-8325-4865-0 59.00 EUR

275 Stephanie Strelow: Beliefs von Studienanfängern des Kombi-Bachelors Physik über die Natur der Naturwissenschaften
ISBN 978-3-8325-4881-0 40.50 EUR

276 Dennis Jaeger: Kognitive Belastung und aufgabenspezifische sowie personenspezifische Einflussfaktoren beim Lösen von Physikaufgaben
ISBN 978-3-8325-4928-2 50.50 EUR

277 Vanessa Fischer: Der Einfluss von Interesse und Motivation auf die Messung von Fach- und Bewertungskompetenz im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4933-6 39.00 EUR

278 René Dohrmann: Professionsbezogene Wirkungen einer Lehr-Lern-Labor-Veranstaltung. *Eine multimethodische Studie zu den professionsbezogenen Wirkungen einer Lehr-Lern-Labor-Blockveranstaltung auf Studierende der Bachelorstudiengänge Lehramt Physik und Grundschulpädagogik (Sachunterricht)*
ISBN 978-3-8325-4958-9 40.00 EUR

279 Meike Bergs: Can We Make Them Use These Strategies? *Fostering Inquiry-Based Science Learning Skills with Physical and Virtual Experimentation Environments*
ISBN 978-3-8325-4962-6 39.50 EUR

280 Marie-Therese Hauerstein: Untersuchung zur Effektivität von Strukturierung und Binnendifferenzierung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Evaluation der Strukturierungshilfe Lernleiter*
ISBN 978-3-8325-4982-4 42.50 EUR

281 Verena Zucker: Erkennen und Beschreiben von formativem Assessment im naturwissenschaftlichen Grundschulunterricht. *Entwicklung eines Instruments zur Erfassung von Teilfähigkeiten der professionellen Wahrnehmung von Lehramtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-4991-6 38.00 EUR

282 Victoria Telser: Erfassung und Förderung experimenteller Kompetenz von Lehrkräften im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4996-1 50.50 EUR

283 Kristine Tschirschky: Entwicklung und Evaluation eines gedächtnisorientierten Aufgabendesigns für Physikaufgaben
ISBN 978-3-8325-5002-8 42.50 EUR

284 Thomas Elert: Course Success in the Undergraduate General Chemistry Lab
ISBN 978-3-8325-5004-2 41.50 EUR

285 Britta Kalthoff: Explizit oder implizit? *Untersuchung der Lernwirksamkeit verschiedener fachmethodischer Instruktionen im Hinblick auf fachmethodische und fachinhaltliche Fähigkeiten von Sachunterrichtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-5013-4 37.50 EUR

286 Thomas Dickmann: Visuelles Modellverständnis und Studienerfolg in der Chemie. *Zwei Seiten einer Medaille*
ISBN 978-3-8325-5016-5 44.00 EUR

287 Markus Sebastian Feser: Physiklehrkräfte korrigieren Schülertexte. *Eine Explorationsstudie zur fachlich-konzeptuellen und sprachlichen Leistungsfeststellung und -beurteilung im Physikunterricht*
ISBN 978-3-8325-5020-2 49.00 EUR

288 Matylda Dudzinska: Lernen mit Beispielaufgaben und Feedback im Physikunterricht der Sekundarstufe 1. *Energieerhaltung zur Lösung von Aufgaben nutzen*
ISBN 978-3-8325-5025-7 47.00 EUR

289 Ines Sonnenschein: Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsprozesse Studierender im Labor
ISBN 978-3-8325-5033-2 52.00 EUR

290 Florian Simon: Der Einfluss von Betreuung und Betreuenden auf die Wirksamkeit von Schülerlaborbesuchen. *Eine Zusammenhangsanalyse von Betreuungsqualität, Betreuermerkmalen und Schülerlaborzielen sowie Replikationsstudie zur Wirksamkeit von Schülerlaborbesuchen*
ISBN 978-3-8325-5036-3 49.50 EUR

291 Marie-Annette Geyer: Physikalisch-mathematische Darstellungswechsel funktionaler Zusammenhänge. *Das Vorgehen von SchülerInnen der Sekundarstufe 1 und ihre Schwierigkeiten*
ISBN 978-3-8325-5047-9 46.50 EUR

292 Susanne Digel: Messung von Modellierungskompetenz in Physik. *Theoretische Herleitung und empirische Prüfung eines Kompetenzmodells physikspezifischer Modellierungskompetenz*
ISBN 978-3-8325-5055-4 41.00 EUR

293 Sönke Janssen: Angebots-Nutzungs-Prozesse eines Schülerlabors analysieren und gestalten. *Ein design-based research Projekt*
ISBN 978-3-8325-5065-3 57.50 EUR

294 Knut Wille: Der Productive Failure Ansatz als Beitrag zur Weiterentwicklung der Aufgabenkultur
ISBN 978-3-8325-5074-5 49.00 EUR

295 Lisanne Kraeva: Problemlösestrategien von Schülerinnen und Schülern diagnostizieren
ISBN 978-3-8325-5110-0 59.50 EUR

296 Jenny Lorentzen: Entwicklung und Evaluation eines Lernangebots im Lehramtsstudium Chemie zur Förderung von Vernetzungen innerhalb des fachbezogenen Professionswissens
ISBN 978-3-8325-5120-9 39.50 EUR

297 Micha Winkelmann: Lernprozesse in einem Schülerlabor unter Berücksichtigung individueller naturwissenschaftlicher Interessenstrukturen
ISBN 978-3-8325-5147-6 48.50 EUR

298 Carina Wöhlke: Entwicklung und Validierung eines Instruments zur Erfassung der professionellen Unterrichtswahrnehmung angehender Physiklehrkräfte
ISBN 978-3-8325-5149-0 43.00 EUR

299 Thomas Schubatzky: Das Amalgam Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht. *Eine multiperspektivische Betrachtung in Deutschland und Österreich*
ISBN 978-3-8325-5159-9 50.50 EUR

300 Amany Annaggar: A Design Framework for Video Game-Based Gamification Elements to Assess Problem-solving Competence in Chemistry Education
ISBN 978-3-8325-5150-6 52.00 EUR

301 Alexander Engl: Chemie Pur – Unterrichten in der Natur: *Entwicklung und Evaluation eines kontextorientierten Unterrichtskonzepts im Bereich Outdoor Education zur Änderung der Einstellung zu „Chemie und Natur“*
ISBN 978-3-8325-5174-2 59.00 EUR

302 Christin Marie Sajons: Kognitive und motivationale Dynamik in Schülerlaboren. *Kontextualisierung, Problemorientierung und Autonomieunterstützung der didaktischen Struktur analysieren und weiterentwickeln*
ISBN 978-3-8325-5155-1 56.00 EUR

303 Philipp Bitzenbauer: Quantenoptik an Schulen. *Studie im Mixed-Methods Design zur Evaluation des Erlanger Unterrichtskonzepts zur Quantenoptik*
ISBN 978-3-8325-5123-0 59.00 EUR

304 Malte S. Ubben: Typisierung des Verständnisses mentaler Modelle mittels empirischer Datenerhebung am Beispiel der Quantenphysik
ISBN 978-3-8325-5181-0 43.50 EUR

305 Wiebke Kuske-Janßen: Sprachlicher Umgang mit Formeln von LehrerInnen im Physikunterricht am Beispiel des elektrischen Widerstandes in Klassenstufe 8
ISBN 978-3-8325-5183-4 47.50 EUR

306 Kai Bliesmer: Physik der Küste für außerschulische Lernorte. *Eine Didaktische Rekonstruktion*
ISBN 978-3-8325-5190-2 58.00 EUR

307 Nikola Schild: Eignung von domänenspezifischen Studieneingangsvariablen als Prädiktoren für Studienerfolg im Fach und Lehramt Physik
ISBN 978-3-8325-5226-8 42.00 EUR

308 Daniel Averbeck: Zum Studienerfolg in der Studieneingangsphase des Chemiestudiums. *Der Einfluss kognitiver und affektiv-motivationaler Variablen*
ISBN 978-3-8325-5227-5 51.00 EUR

309 Martina Strübe: Modelle und Experimente im Chemieunterricht. *Eine Videostudie zum fachspezifischen Lehrerwissen und -handeln*
ISBN 978-3-8325-5245-9 45.50 EUR

310 Wolfgang Becker: Auswirkungen unterschiedlicher experimenteller Repräsentationen auf den Kenntnisstand bei Grundschulkindern
ISBN 978-3-8325-5255-8 50.00 EUR

311 Marvin Rost: Modelle als Mittel der Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Entwicklung und quantitative Dimensionalitätsanalyse eines Testinstruments aus epistemologischer Perspektive*
ISBN 978-3-8325-5256-5 44.00 EUR

312 Christina Kobl: Förderung und Erfassung der Reflexionskompetenz im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-5259-6 41.00 EUR

313 Ann-Kathrin Beretz: Diagnostische Prozesse von Studierenden des Lehramts – *eine Videostudie in den Fächern Physik und Mathematik*
ISBN 978-3-8325-5288-6 45.00 EUR

314 Judith Breuer: Implementierung fachdidaktischer Innovationen durch das Angebot materialgestützter Unterrichtskonzeptionen. *Fallanalysen zum Nutzungsverhalten von Lehrkräften am Beispiel des Münchener Lehrgangs zur Quantenmechanik*
ISBN 978-3-8325-5293-0 50.50 EUR

315 Michaela Oettle: Modellierung des Fachwissens von Lehrkräften in der Teilchenphysik. *Eine Delphi-Studie*
ISBN 978-3-8325-5305-0 57.50 EUR

316 Volker Brüggemann: Entwicklung und Pilotierung eines adaptiven Multistage-Tests zur Kompetenzerfassung im Bereich naturwissenschaftlichen Denkens
ISBN 978-3-8325-5331-9 40.00 EUR

317 Stefan Müller: Die Vorläufigkeit und soziokulturelle Eingebundenheit naturwissenschaftlicher Erkenntnisse. *Kritische Reflexion, empirische Befunde und fachdidaktische Konsequenzen für die Chemielehrer*innenbildung*
ISBN 978-3-8325-5343-2 63.00 EUR

318 Laurence Müller: Alltagsentscheidungen für den Chemieunterricht erkennen und Entscheidungsprozesse explorativ begleiten
ISBN 978-3-8325-5379-1 59.00 EUR

319 Lars Ehlert: Entwicklung und Evaluation einer Lehrkräftefortbildung zur Planung von selbstgesteuerten Experimenten
ISBN 978-3-8325-5393-71 41.50 EUR

320 Florian Seiler: Entwicklung und Evaluation eines Seminarkonzepts zur Förderung der experimentellen Planungskompetenz von Lehramtsstudierenden im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-5397-5 47.50 EUR

321 Nadine Boele: Entwicklung eines Messinstruments zur Erfassung der professionellen Unterrichtswahrnehmung von (angehenden) Chemielehrkräften hinsichtlich der Lernunterstützung
ISBN 978-3-8325-5402-6 46.50 EUR

322 Franziska Zimmermann: Entwicklung und Evaluation digitalisierungsbezogener Kompetenzen von angehenden Chemielehrkräften
ISBN 978-3-8325-5410-1 49.50 EUR

323 Lars-Frederik Weiß: Der Flipped Classroom in der Physik-Lehre. *Empirische Untersuchungen in Schule und Hochschule*
ISBN 978-3-8325-5418-7 51.00 EUR

324 Tilmann Steinmetz: Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik. *Theorie und Evaluation eines Lehrkonzepts*
ISBN 978-3-8325-5421-7 51.00 EUR

Alle erschienenen Bücher können unter der angegebenen ISBN direkt online (http://www.logos-verlag.de) oder per Fax (030 - 42 85 10 92) beim Logos Verlag Berlin bestellt werden.

Die experimentelle Planungskompetenz stellt insbesondere im Lichte des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung der Nationalen Bildungsstandards eine wichtige Kernkompetenz künftiger Chemie-Lehrkräfte in Deutschland dar. Unter dem Konstrukt können diejenigen Kompetenzen von Lehrkräften verstanden werden, welche für eine lernwirksame Gestaltung von Experimentierprozessen nötig sind. Dabei stellen die ziel- und kompetenzorientierte Öffnung des Experimentierprozesses, die Verwendung adäquater Unterstützungsmaßnahmen, die Berücksichtigung von Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler sowie die Passung zwischen den verschiedenen Planungsentscheidungen wichtige Planungskriterien dar.

Zur Förderung der experimentellen Planungskompetenz wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein Seminarkonzept entwickelt, in dem insgesamt 48 Studierende selbst Experimentierprozesse planten, evaluierten und reflektierten. Um die Lernwirksamkeit zu überprüfen, wurde in einem Pre-Post-Follow-Up-Design u. a. die experimentelle Planungskompetenz mit Hilfe eines Performanztests erhoben. Die daraus resultierenden schriftlichen Planungen wurden mit Hilfe eines selbst entwickelten Kodiermanuals analysiert und hinsichtlich ihrer Qualität bewertet. Auf die gleiche Weise wurden die im Verlauf des Seminars entstandenen Experimentierprozesse ausgewertet. Es zeigen sich signifikante Zuwächse in der experimentellen Planungskompetenz.

Logos Verlag Berlin

ISBN 978-3-8325-5397-5