

Studien zum Physik- und Chemielernen

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

319

Lars Ehlert

Entwicklung und Evaluation einer Lehrkräftefortbildung zur Planung von selbstgesteuerten Experimenten

λογος

Studien zum Physik- und Chemielernen

Herausgegeben von Martin Hopf, Hans Niedderer, Mathias Ropohl und Elke Sumfleth

Diese Reihe im Logos Verlag Berlin lädt Forscherinnen und Forscher ein, ihre neuen wissenschaftlichen Studien zum Physik- und Chemielernen im Kontext einer Vielzahl von bereits erschienenen Arbeiten zu quantitativen und qualitativen empirischen Untersuchungen sowie evaluativ begleiteten Konzeptionsentwicklungen zu veröffentlichen. Die in den bisherigen Studien erfassten Themen und Inhalte spiegeln das breite Spektrum der Einflussfaktoren wider, die in den Lehr- und Lernprozessen in Schule und Hochschule wirksam sind.

Die Herausgeber hoffen, mit der Förderung von Publikationen, die sich mit dem Physik- und Chemielernen befassen, einen Beitrag zur weiteren Stabilisierung der physik- und chemiedidaktischen Forschung und zur Verbesserung eines an den Ergebnissen fachdidaktischer Forschung orientierten Unterrichts in den beiden Fächern zu leisten.

Martin Hopf, Hans Niedderer, Mathias Ropohl und Elke Sumfleth

Studien zum Physik- und Chemielernen

Band 319

Lars Ehlert

**Entwicklung und Evaluation einer
Lehrkräftefortbildung zur Planung von
selbstgesteuerten Experimenten**

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 978-3-8325-5393-7

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 einer Lehrkräftefortbildung zur Planung von selbstgesteuerten Experimenten



Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
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

Lars Ehlert

aus

Burghausen

im Jahr

2021

Vorsitzender: Prof. Dr. Pierre Koch
Erstgutachter: Prof. Dr. Oliver Tepner
Zweitgutachter: Prof. Dr. Arne Dittmer
Drittprüfer: Prof. Dr. Stefan Krauss
Tag der Disputation: 08.09.2021

Inhalt

1	Einleitung	5
2	Theoretischer Hintergrund	7
2.1	Professionelle Handlungskompetenz.....	7
2.1.1	Angebots-Nutzungs-Modell	7
2.1.2	Modell der professionellen Handlungskompetenz	8
2.1.3	Modellierung professioneller Kompetenz als Kontinuum.....	10
2.1.4	Dimensionen des professionellen Wissens.....	11
2.2	Planungskompetenz und schulische Rahmenbedingungen	14
2.3	Professional Development.....	20
2.3.1	Begriffsbestimmung	20
2.3.2	Einflussfaktoren und Effektivität von Lehrkräfte-Fortbildungen.....	22
2.4	Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung.....	27
2.4.1	Erkenntnisgewinnung in den Bildungsstandards und Lehrplänen	27
2.4.2	Definitionsansätze und Ziele des Experimentierens im Unterricht.....	31
2.4.3	Experimentelle Erkenntnisgewinnungsprozesse	32
2.4.4	Selbstgesteuertes Experimentieren	36
2.4.4.1	Definitionsansätze	36
2.4.4.2	Öffnungsgrade	39
2.4.4.3	Implementierung.....	42
2.4.4.4	Empirische Befunde zum selbstgesteuerten Experimentieren.....	44
2.4.4.5	Unterstützende Maßnahmen	47
2.4.4.6	Beachtung der experimentellen Kompetenz der Lernenden.....	49
3	Ziele und Fragestellungen	53
4	Methodik und Fortbildungsdesign	55
4.1	Methodik.....	55
4.1.1	Auswertungsverfahren und statistischer Hintergrund	55
4.1.2	Forschungsdesign	61
4.1.3	Testkonstruktion	63
4.1.4	Weitere Erhebungsinstrumente.....	75
4.1.5	Stichprobenbeschreibung.....	77
4.2	Fortbildungsdesign	81
4.2.1	Struktur und Inhalte der Fortbildung.....	81

4.2.2	Strukturierungskonzept.....	82
4.2.3	Design und inhaltliche Aspekte der eingesetzten Materialien.....	85
4.2.4	Sachanalyse	89
5	Präpilotierung	105
6	Pilotierungen	107
6.1	Pilotierung I.....	107
6.2	Pilotierung II.....	111
7	Hauptstudie	115
8	Diskussion und Ausblick	123
8.1	Forschungsdesign und Methode	123
8.2	Inhalt und Organisation	124
9	Zusammenfassung.....	127
10	Literaturverzeichnis.....	131
11	Abbildungsverzeichnis	171
12	Tabellenverzeichnis.....	173
13	Formelverzeichnis	179
14	Anhang mit allen Materialien	181
14.1	Inhalte der Lehrkräftefortbildung	181
14.1.1	Präsentationsfolien der Hauptstudie	181
14.1.2	Arbeitsblätter und Materialien der Hauptstudie	202
14.2	Messinstrumente.....	212
14.2.1	Fragebögen zur Bewertung der Fortbildungsmaßnahme	212
14.2.2	Test zur experimentellen Planungskompetenz	214
14.2.3	Test zum experimentell-fachdidaktischen Wissen	223
14.3	Detaillierte Ergebnisse zur Forschungsfrage 1.1	224
14.4	Detaillierte Ergebnisse zur Forschungsfrage 1.2.....	235
14.5	Detaillierte Ergebnisse zur Forschungsfrage 2.....	241
14.6	Detaillierte Ergebnisse zur Forschungsfrage 3	248

1 Einleitung

Das Experiment stellt ein zentrales Element des Chemieunterrichts dar (Schulz, 2011) und die Kompetenz zum Experimentieren wird als „bedeutsamer Teil naturwissenschaftlicher Bildung“ (Gut-Glanzmann & Mayer, 2018, S. 121) gesehen. Das Ziel eines Experiments ist im Allgemeinen, neue Erkenntnisse mittels einer geplanten Variablenvariation zu gewinnen (Janich, 1995; Sumfleth & Walpuski, 2012).

Im deutschen naturwissenschaftlichen Unterricht sind hohe Unterrichtsanteile mit experimentenspezifischen Arbeitsphasen zu erkennen, wobei diese Phasen zumeist aus imitativen Schülerexperimenten oder Lehrerdemonstrationsexperimenten bestehen (Seidel et al., 2006; Stiller, 2015; Tesch & Duit, 2004). Diese Befunde konnten ebenfalls durch die PISA-Studie 2015, die einen naturwissenschaftlichen Schwerpunkt aufwies, mittels der Analyse von Unterrichtsmustern bestätigt werden (Schiepe-Tiska, Rönnebeck et al., 2016; Schiepe-Tiska, Schmidtner et al., 2016).

Für einen zeitgemäßen Chemieunterricht wird ein deutlicher Wandel, der den Einsatz von offenen Experimentierformen impliziert, durch die deutschen Bildungsstandards und die Lehrpläne gefordert (Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst, 2016; KMK, 2005b, 2020; Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung [ISB], 2020).

Lehrkräfte führen als Hinderungsgründe für die fehlende Umsetzung von selbstgesteuerten Experimenten in ihrem Unterricht u. a. das fehlende Wissen über diese Experimentierform an (Fitzgerald et al., 2019). Zur Änderung dieses Umstandes und der Einhaltung der curricularen Vorgaben sind zur Unterstützung der Lehrkräfte gezielte Fortbildungsmaßnahmen notwendig.

Das primäre Ziel dieses empirischen Forschungsprojekts war somit die Entwicklung und Evaluierung einer eintägigen effektiven Fortbildung für Lehrkräfte der Sekundarstufe zur Förderung der Planungskompetenz hinsichtlich selbstgesteuerter Experimente.

Den Lehrkräften wurde zur Planung von selbstgesteuerten Experimenten im Zuge der Fortbildung ein innovatives und literaturbasiertes Strukturierungskonzept vorgestellt (Ehlert & Tepner, 2020). Mit diesem konnten die Teilnehmenden neue offene Experimente konzipieren oder bereits vorhandene kochbuchartige Versuche zu Experimenten mit beliebigen Öffnungsgraden modifizieren. Als zusätzliche Lerngelegenheit wurden lehrplankonforme Beispielexperimente mit verschiedenen Öffnungsgraden von den Teilnehmenden praktisch erprobt.

Im Zuge der Lehrkräftefortbildung wurde in den Pilotierungen mit einer Prä-Post-Testung und in der Hauptstudie mit einem Prä-Post-Follow-Up-Design das fachdidaktische Wissen der Teilnehmenden bezüglich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten empirisch per Paper-Pencil-Test überprüft.

Dazu wurde ein Messinstrument im Multiple-Choice-Multiple-Select-Format entwickelt und im Rahmen der Pilotierungen hinsichtlich der Reliabilität und der Itemschwierigkeitsindizes evaluiert. Die Items des Tests zur experimentellen Planungskompetenz waren auf die vermittelten Fortbildungsinhalte zugeschnitten und wurden anhand aktueller empirischer Literatur konzipiert.

Zusätzlich wurde die Validität des Tests zur experimentellen Planungskompetenz anhand des bestehenden experimentell-fachdidaktischen Tests nach Backes et al. (2012) überprüft. Die Validierung erfolgte im Rahmen eines Studierendenseminars von Seiler und Tepner (2019), das ebenfalls die Planungskompetenz hinsichtlich selbstgesteuerter Experimente schulte.

Neben der Änderung des fachdidaktischen Wissens im Verlauf der Fortbildung und der Prüfung der Gütekriterien des Tests zur experimentellen Planungskompetenz stand in den Pilotierungsstudien die Evaluation der Fortbildung durch die teilnehmenden Lehrkräfte im Fokus. Hierzu wurden bereits bestehende Testinstrumente nach Schmitt (2016) und Telser (2019) verwendet, welche die Zufriedenheit mit der Maßnahme, den subjektiven Lernerfolg und die aktuelle Motivation bezüglich des Einsatzes der Fortbildungsinhalte sowie -materialien im Unterricht erfassen.

Die theoretischen Grundlagen und der aktuelle Forschungsstand werden in Kapitel 2 dargestellt und erläutert. In Kapitel 3 werden die Ziele dieses Projekts aufgezeigt und auf der Basis des theoretischen Hintergrunds die Fragestellungen mit ihren Hypothesen abgeleitet. Das Forschungsdesign, die methodische Vorgehensweise sowie die Entwicklung und Evaluierung des neuen Messinstrumentes werden in Kapitel 4 dokumentiert. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt entsprechend der einzelnen Teilstudien in den Kapiteln 5 bis 7, woraufhin im nachfolgenden Kapitel 8 die Ergebnisse diskutiert. Abschließend erfolgt in Kapitel 9 eine Zusammenfassung der wichtigsten Aspekte.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Professionelle Handlungskompetenz

2.1.1 Angebots-Nutzungs-Modell

Das Angebots-Nutzungs-Modell der Wirkungsweise des Unterrichts (Abbildung 2-1) nach Helmke (2003) baut auf den Arbeiten von Fend (1980) sowie Helmke und Weinert (1997) auf und ist mittlerweile als Rahmenmodell, das die komplexen „Wechselwirkungen zwischen Lernenden, Lehrenden sowie institutionellen und informellen Kontextbedingungen schulischen Lernens“ (Drechsel & Schindler, 2019, S. 357) beschreibt, in der Bildungsforschung fest etabliert (Kohler & Wacker, 2013). Laut Helmke (2015) wird der Unterricht als Angebot betrachtet, welches durch die Schülerinnen und Schüler genutzt werden kann und dessen Ertrag von zwei Typen mediiender Prozessen seitens der Lernenden bedingt wird. Der Ertrag hängt ab:

- (1) davon, ob und wie Erwartungen der Lehrkraft und unterrichtliche Maßnahmen von den Schülerinnen und Schülern überhaupt wahrgenommen und wie sie interpretiert werden, sowie (2) ob und zu welchen motivationalen, emotionalen und volitionalen (auf den Willen bezogenen) Prozessen sie auf Schülerseite führen (Helmke, 2015, S. 71).

Folglich hängt der Ertrag des angebotenen Unterrichts von unterschiedlichen, sich gegenseitig beeinflussenden Faktoren, die das Lernpotenzial der Schülerinnen und Schüler, die Lernzeit, den schulischen sowie familiären Kontext und die Merkmale einer Lehrperson umfassen, ab (Kunter & Trautwein, 2018).

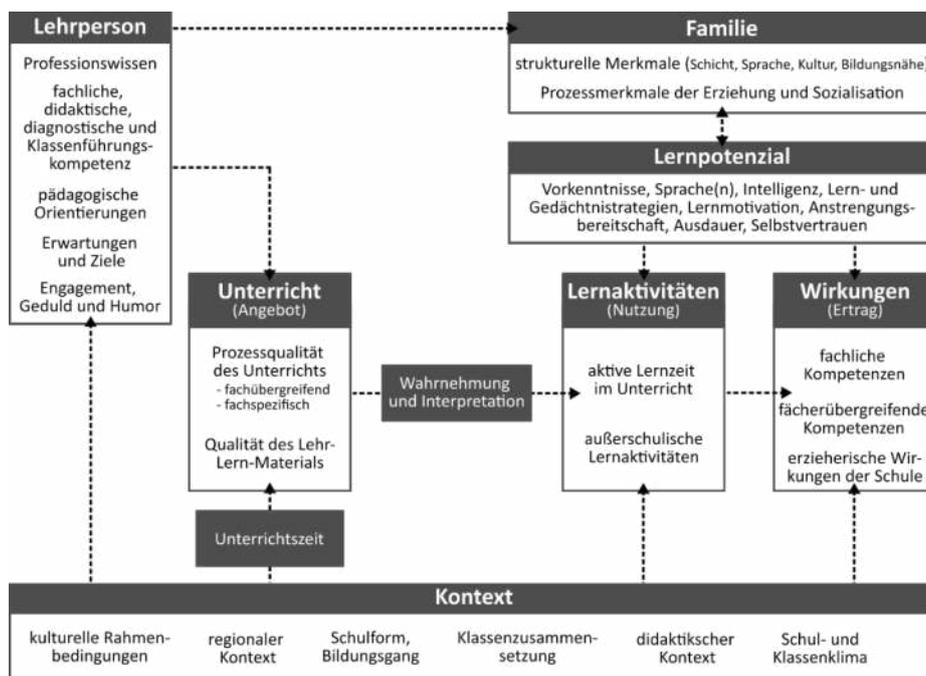


Abbildung 2-1: Angebots-Nutzungsmodell (Helmke, 2015)

Als wesentliche Einflussfaktoren auf die Unterrichtsqualität werden u. a. das Professionswissen (Baumert & Kunter, 2006) (vgl. 2.1.4) sowie Klassenführungskompetenz der Lehrperson (Helmke, 2007a; Kounin, 2006; Seidel, 2009; Thiel et al., 2012) angesehen. Das Lernpotential der Schülerinnen und Schüler, das beispielsweise das bereichsspezifische Vorwissen (Dochy et al., 1999; Gruber & Stamouli, 2009; Kalyuga, 2007), die Intelligenz (Gustafsson & Undheim, op. 1996; Rost, 2013) sowie die motivationale, affektive und emotionale Ebene (Hascher & Brandenberger, 2018; Pekrun & Schiefele, 1996) inkludiert, beeinflusst ebenso den Ertrag des Unterrichts (Lipowsky, 2009). Diese Ebene wird wiederum vornehmlich durch den familiären Kontext beeinflusst (Baumert et al., 2006; Helmke, 2015). Als zentrale Aspekte identifizierte Hattie (2015) in seiner Metaanalyse hierbei, den sozioökonomischen Status der Familie sowie das Engagement der Eltern bei der häuslichen Lernunterstützung. Ein weiterer Einflussfaktor ist der schulische Kontext, der beispielsweise das Klassenklima (Grewe, 2017) oder die Klassenzusammensetzung (Hochweber et al., 2014) beinhaltet (Helmke, 2015). Abschließend ist die Unterrichtszeit als Prädiktor für einen hohen Lernertrag zu nennen, wobei zu beachten ist, dass die Lernenden sich bei einer effektiven Unterrichtszeit mit nachweislich lernwirksamen Aktivitäten beschäftigen sollten (Gräsel & Göbel, 2015; Schrader & Helmke, 2008).

2.1.2 Modell der professionellen Handlungskompetenz

Im Rahmen der COACTIV-Studie (Cognitive Activation in the Classroom), die „einen theoretischen und empirischen Beitrag zur Klärung zentraler Konzepte und zur Diskussion über die Professionalisierung von Lehrkräften“ (Baumert & Kunter, 2011, S. 29) bietet, ist am Beispiel von Mathematiklehrkräften das nicht-hierarchische Strukturmodell der professionellen Handlungskompetenz von Lehrkräften konkretisiert worden (Baumert & Kunter, 2006). Hierbei sind die Lehrenden die wichtigsten Akteure bezüglich der Unterrichtsgestaltung und initiieren dabei aktive Lerngelegenheiten für die Schülerinnen und Schüler (Baumert & Kunter, 2006; Kunter et al., 2009). Somit ist von zentraler Bedeutung, dass die Qualifizierung von Lehrkräften (vgl. 2.3) einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Bildungsprozesse darstellt (Lipowsky, 2006). Unter dem Begriff der Handlungskompetenz werden in Anlehnung an Weinert (2001a) im COACTIV-Modell die Fähigkeiten, Fertigkeiten und Bereitschaften, die zur erfolgreichen Bewältigung der Anforderungen im Lehrberuf notwendig sind, verstanden (Baumert & Kunter, 2011). Die Aspekte der professionellen Handlungskompetenzen von Lehrkräften sind laut dem Modell (Abbildung 2-2) ein Zusammenspiel aus den motivationalen Orientierungen, den Fähigkeiten zur Selbstregulation, den Überzeugungen/Wertehaltungen/Ziele und dem Professionswissen (Baumert & Kunter, 2011).

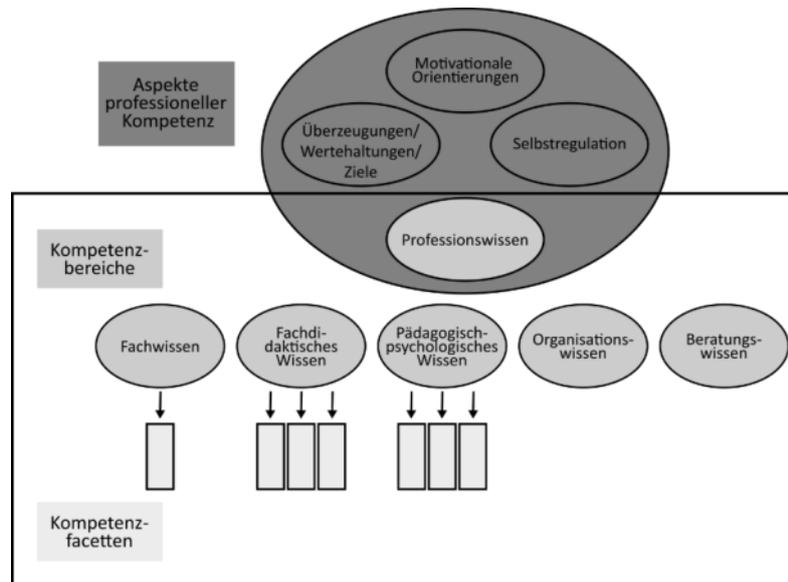


Abbildung 2-2: Modell professioneller Handlungskompetenz (Baumert & Kunter, 2011)

Lehrkräfte müssen sich in ihrem Schulalltag komplexe Anforderungen, wie z. B. Misserfolgen oder Auseinandersetzungen mit neuen Situationen (Lin et al., 2005), stellen, sodass sie gewisse motivationale Merkmale für die Bewältigung dieser Probleme aufzeigen sollten (Kunter, 2011b). Motivation kann nach Rheinberg und Vollmeyer (2019) als gerichtete Zielsetzung gesehen werden, bei der ein Ziel ohne Ablenkung und unter Einbringung diverser Ressourcen umgesetzt wird. Dabei ist zu beachten, dass nicht von einem homogenen Konstrukt, sondern von motivationalen Merkmalen, die sich gegenseitig bedingen sowie sich interindividuell unterscheiden, ausgegangen wird (Kunter, 2011a; Kunter & Pohlmann, 2009; Rheinberg & Vollmeyer, 2019).

In der Forschung stehen vor allem die Berufswahlmotive, bei denen Gründe für die Berufsentscheidung identifiziert werden (Brookhart & Freeman, 1992; Pohlmann & Möller, 2010), die Selbstwirksamkeitserwartung, die sich u. a. mit den subjektiven Überzeugungen, dass bestimmte Handlungen trotz Widerständen erfolgreich bewältigt werden, beschäftigt (Bandura, 1977; Kunter, 2011b; Schmitz & Schwarzer, 2000; Tschannen-Moran & Hoy, 2001) sowie dem Enthusiasmus, unter dem das intrinsisch, motivierte Handeln der Lehrkraft im Unterricht verstanden wird (Babadi, 2007; Bakker, 2005; Pelletier et al., 2002), im Fokus (Baumert & Kunter, 2011).

Als weiterer Aspekt der professionellen Handlungskompetenz zählt die Selbstregulation, die als „die Fähigkeit, im beruflichen Kontext effektiv mit den eigenen Ressourcen haushalten zu können“ (Klusmann, 2011, S. 277) im COACTIV-Modell in Anlehnung an Hobföll (1989) definiert wird (Baumert & Kunter, 2011). Ein ausgewogener Umgang mit den eigenen Ressourcen liegt vor, wenn sich trotz der komplexen Anforderung des Lehrberufs das Engagement und die Distanzierung von beruflichen Aspekten die Waage halten (Kunter & Klusmann, 2010). Zudem bilden die Überzeugungen einen Kompetenzaspekt im COACTIV-Kompetenzmodell (Baumert & Kunter, 2011), wobei die Überzeugungen eine hohe, begriffliche Diversität in der Literatur aufweist (Calderhead, op. 1996). Die Überzeugungen können dabei als „Vorstellungen und Annahmen von Lehrkräften über schul- und unterrichtsbezogene Phänomene und Prozesse mit einer bewertenden

Komponente“ (Kunter & Pohlmann, 2009, S. 267) beschrieben werden. Das Professionswissen von Lehrkräften als vierter Kompetenzaspekt wird in Kapitel 2.1.4 differenzierter betrachtet.

Die Wirkung von Unterricht wird von weiteren Faktoren (vgl. 2.1.1), wie beispielsweise familiärer Kontext oder Lernpotential der Schülerinnen und Schüler, beeinflusst (Brühwiler et al., 2017; Helmke, 2007b).

2.1.3 Modellierung professioneller Kompetenz als Kontinuum

Das im deutschsprachigen Raum oftmals auf Weinert (2001a) bezogene Verständnis der Kompetenz, wird im PID (Perception, Interpretation und Decision-Making)-Modell (Abbildung 2-3) nach Blömeke, Gustafsson und Shavelson (2015) um eine situationspezifische und holistische Betrachtungsweise der Kompetenz erweitert (Blömeke, König et al., 2015; Casale et al., 2016). Die Kompetenz wird dabei als Kontinuum mit vielfachen Übergängen betrachtet, das seinen Startpunkt bei den Dispositionen einer Lehrkraft hat und über deren situationspezifischen Fähigkeiten bis zu der Leistung in der Unterrichtssituation geht (Harms & Riese, 2018).

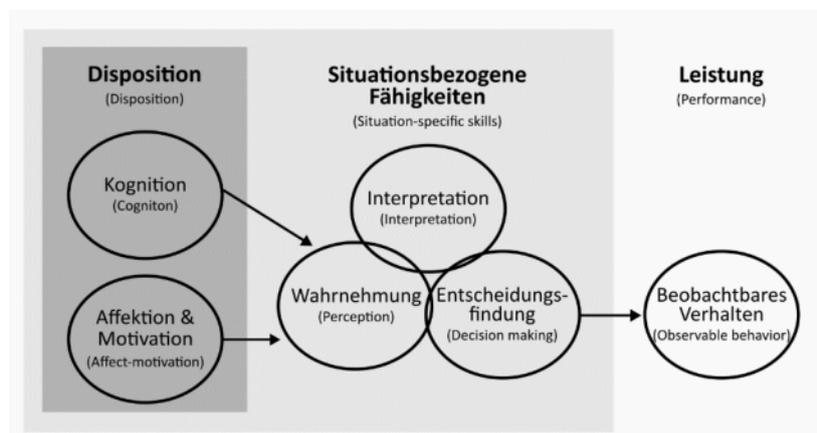


Abbildung 2-3: PID-Modell (Blömeke, Gustafsson & Shavelson, 2015)

Unter den Dispositionen einer Lehrkraft werden einerseits deren kognitiven Eigenschaften (Cognition), wie z. B. das Fachwissen, und andererseits deren affektiven-motivationalen Merkmale (Affect-motivation), wie die Überzeugen, gezählt (Blömeke et al., 2020). Hierbei lassen sich Parallelen zu dem Angebots-Nutzungs-Modell (2.1.1) nach Helmke (2015) ziehen, das diese Aspekte unter dem Professionswissen der Lehrkraft verortet. Im COACTIV-Modell (2.1.2) nach Baumert und Kunter (2011) werden stattdessen die Dispositionen einer Lehrkraft unter den Aspekten der professionellen Kompetenz zusammengefasst.

Die Dispositionen einer Lehrkraft werden als Voraussetzungen für die situationsbezogenen Fähigkeiten angenommen (Harms & Riese, 2018), wobei die situationspezifischen Fähigkeiten ebenso als Mediator, „mediate between disposition and performance“ (Blömeke, Gustafsson & Shavelson, 2015, S. 7), zwischen den anderen beiden Komponenten betrachtet werden können. Als situationsbezogene Fähigkeiten werden im PID-Modell die Unterrichtswahrnehmung (Perception), die Interpretation (Interpretation) und

die Entscheidungsfindung (Decision making) gesehen (Harms & Riese, 2018). Diese können als eine kausale Folge betrachtet werden, bei der die Lehrkraft bestimmte Aspekte im Unterricht wahrnimmt, diese dann interpretiert und daraus resultierend eine Entscheidung, die entweder eine alternative Handlungsstrategie oder eine Antizipierung der Reaktionen der Lernenden darstellt, trifft (Kaiser et al., 2017). Daraus resultiert eine Handlung seitens der Lehrkraft in der konkreten Unterrichtssituation („real-world performance“) (Blömeke, Gustafsson & Shavelson, 2015, S. 11).

2.1.4 Dimensionen des professionellen Wissens

Das Professionswissen von Lehrkräften ist eine wesentliche Determinante für die Qualität des Unterrichts (Abell, 2007; Baumert & Kunter, 2006; Brunner et al., 2006; Khourey-Bowers & Fenk, 2009; Kunter et al., 2011). Shulman (1987) beschreibt sieben Dimensionen des Professionswissen die in Tabelle 2-1 aufgeführt sind.

Tabelle 2-1: Dimensionen des professionellen Wissens nach Shulman (1987)

Dimensionen
<ul style="list-style-type: none"> • Fachwissen (Content knowledge) • Pädagogisches Wissen (General pedagogical knowledge) • Wissen über das Curriculum (Curriculum knowledge) • Fachdidaktisches Wissen (Pedagogical content knowledge) • Psychologie des Lerners (Knowledge of learners and their characteristics) • Organisationswissen (Knowledge of educational contexts) • Erziehungsphilosophisches, bildungstheoretisches und bildungshistorisches Wissen (Knowledge of educational ends, purpose and values and their philosophical and historical grounds)

Als für die Forschung zentrale Kompetenzdimensionen haben sich mittlerweile das Fachwissen (CK), pädagogische Wissen (PK) und fachdidaktische Wissen (PCK) etabliert (Baumert & Kunter, 2006; Borko & Putnam, op. 1996; Borowski et al., 2010; Bromme, 1997; Helmke, 2007b). Das CK einer Lehrkraft wird als dasjenige Wissen betrachtet, das einerseits für die fachspezifischen Aspekte des Unterricht benötigt wird, andererseits jedoch ein tieferes Wissen als das schulrelevante Wissen darstellen sollte (Blömeke et al., 2009). Das PK hingegen wird als Wissen beschrieben, das für die pädagogischen Aspekte des Unterrichts seine Anwendung findet. Das PCK wird als Synthese von PK und CK betrachtet, was Shulman (1986) folgendermaßen formuliert: „... special amalgam of content and pedagogy that is uniquely the province of teachers, their own special form of professional understanding.“ (Shulman, 1987, S. 8). Hierbei unterscheiden van Driel et al. (2002) das PCK in das Wissen über die Instruktionsstrategien und die Schülervorstellungen. Diese Unterteilung weist in einigen Aspekten inhaltliche Parallelen zu dem „Model of Teacher Professional Knowledge and Skill Including PCK“ als einer aktuelleren

Konzeptualisierung des PCKs auf, die als Konsens mehrerer internationaler Wissenschaftler entstanden ist: „The knowledge of, reasoning behind, and planning for teaching a particular topic in a particular way for a particular purpose to particular students for enhanced student outcomes” (Gess-Newsome, 2015, S. 36).

Im Refined Consensus Model (RCM) of PCK nach Carlson et al. (2019) werden die fachdidaktischen Kompetenzen der Lehrkräfte im Vergleich zu früheren Modellen deutlich differenzierter dargestellt (Abbildung 2-4). Dabei wird im Modell zwischen den drei Facetten – collective PCK (cPCK), personal PCK (pPCK) und enacted PCK (ePCK) – unterschieden (Carlson et al., 2019, S. 82).



Abbildung 2-4: Refined Consensus Model of PCK (Carlson et al., 2019, S. 83)

Das ePCK steht im Zentrum des RCMs und beschreibt die spezifischen Fähigkeiten und das Wissen, welche die Lehrkräfte im Rahmen des Unterrichts und der Vorbereitung von Unterricht benötigen. Hierbei besteht ein dynamischer Zyklus aus der Unterrichtsplanung (plan), der Durchführung der geplanten Unterrichtsstunde (teach) sowie der Reflexion (reflect), die nicht nur auf die erreichten Ergebnisse der Lernenden zielt (reflection on action), sondern auch die Reflexion der direkten Interaktionen mit den Schülerinnen und Schüler bedingt (reflection in action). Das pPCK spiegelt das persönliche, pädagogische Wissen der Lehrkräfte wider, das sie einerseits in konkreten Unterrichtssituationen erlernen und andererseits u. a. durch den Austausch mit Kolleginnen und Kollegen oder durch das Lesen einschlägiger Fachliteratur erwerben. Wenn Lehrkräfte auf bestimmte Facetten ihres weitgefächerten pPCKs in einer konkreten Unterrichtssituation zurückgreifen, werden diese Facetten in diesem Moment dem ePCK zugeordnet. Das pPCK und das ePCK bedingen sich gegenseitig und das ePCK kann als Teilmenge (Anwendung) des pPCK betrachtet werden. Eine weitere Facette des RCMs ist der Lernkontext (learning context), der das pPCK und ePCK einfasst, da der Lernerfolg von verschiedenen Faktoren, wie z. B. die individuellen Eigenschaften der Schülerinnen und Schüler oder die Lernumgebung, abhängt. Das cPCK stellt das fachdidaktische Wissen, das in der

Fachgemeinschaft verfügbar ist sowie von dieser u. a. in Form von Konferenzen und Publikationen geteilt wird, dar. Dieses cPCK kann wiederum unterteilt werden in das PCK bezüglich der Klassenführung (discipline-specific PCK), das PCK in Hinblick auf die Vorstellungen der Lernenden (topic-specific PCK) und das PCK, das die Lehrstrategien beinhaltet (concept-specific PCK). Das pädagogische Wissen (pedagogical knowledge), Fachwissen (content knowledge), Lehrplanwissen (curricular knowledge), Bewertungswissen (assessment knowledge) sowie das Wissen über die Lernenden (knowledge of students) sind die Komponenten der professionellen Wissensbasis (professional knowledge base) einer Lehrkraft und bilden den äußeren Ring des RCM.

Im Gegensatz zum PID-Modell (2.1.3) nach Blömeke, Gustafsson und Shavelson (2015) wird im RCM keine direkte Handlungskette angenommen (Tepner & Sumfleth, 2019). Die Dispositionen einer Lehrkraft lassen sich dabei in das cPCK und pPCK verorten, wohingegen die situationsspezifischen Fähigkeiten und das daraus folgende beobachtbare Verhalten im Unterricht dem ePCK zugeordnet werden kann (Blömeke, Gustafsson & Shavelson, 2015; Tepner & Sumfleth, 2019).

Die Schulung der Medienkompetenz stellt mittlerweile einen Bildungsauftrag der Schulen dar (KMK, 2016) und insbesondere den MINT-Fächern wird „ein hohes Nutzungspotenzial“ (Kramer et al., 2019, S. 131) der digitalen Medien beigemessen. Hierzu ist das Professionswissen der Lehrkräfte um eine medienbezogene Facette, die im Technological Pedagogical And Content Knowledge (TPACK)-Modell nach Mishra und Koehler (2006) ihren Ausdruck findet, ergänzt worden. Diese neue Kompetenzfacette inkludiert dabei „the knowledge that teachers need to develop for successfully teaching with technology and becoming successful facilitators of technology-enhanced student learning“ (Angeli et al., 2015, S. 13). Dabei werden im TPACK-Modell die Dimensionen des PKs und CKs nach Shulman (1987) durch das technische Wissen (Technological Knowledge, TK), das die Kenntnisse über den Umgang mit Technologien umschreibt, erweitert (Castéra et al., 2020). Dadurch ergeben sich im Modell diverse Überschneidungsmöglichkeiten, sodass neue Wissensfacetten, wie das technologisch-inhaltliche Wissen (Technological Content Knowledge, TCK), das technologisch-pädagogische Wissen (Technological Pedagogical Knowledge, TPK) und das technologisch-pädagogische Inhaltswissen (Technological Pedagogical And Content Knowledge, TPACK), definiert werden können (Endberg & Lorenz, 2017).

2.2 Planungskompetenz und schulische Rahmenbedingungen

Die Planung des Unterrichts stellt ein wesentliches Momentum des Lehrberufs dar (Baumert & Kunter, 2006; König et al., 2015; Schröder et al., 2020; Wernke & Zierer, 2017; Zierer et al., 2015) und ist entsprechend den Standards der Lehrkräftebildung der KMK ein fester Bestandteil der Aus- und Weiterbildung (KMK, 2019a, 2019b). Gemäß den inhaltlichen Anforderungen für das Chemie-Lehramtsstudium sollen die Absolventen nach dem Studium „erste reflektierte Erfahrungen in der kompetenzorientierten Planung und Durchführung von Chemieunterricht“ (KMK, 2019a, S. 24) aufweisen. Ebenfalls stellen König und Blömeke (2009) die kompetenz- sowie prozessbezogene Planung und Analyse des Unterrichts als wesentliche Anforderungen einer Lehrkraft heraus. Im Rahmenmodell der professionellen Handlungskompetenz (2.1.2) wird die Unterrichtsplanung als Wissensfacette des generischen pädagogischen Wissens und Könnens angesehen (Baumert & Kunter, 2006). Hierbei werden unter dem allgemeindidaktischen Konzeptions- und Planungswissen die Teilaspekte der metatheoretischen Modelle sowie die fächerübergreifenden Prinzipien der Unterrichtsplanung aufgeführt (Baumert & Kunter, 2011). Die Unterrichtsplanung wird als eine Kerntätigkeit des Lehrberufs angesehen (Kiper & Mischke, 2009; Peterßen, 2003) und die Lehrkräfte investieren einen hohen Anteil ihrer Arbeitszeit in die Unterrichtsvor- und -nachbereitung (Hardwig et al., 2018). Jedoch wird kritisiert, dass beispielsweise das COACTIV-Modell primär die Unterrichtsdurchführung in den Vordergrund stellt und die Unterrichtsvorbereitung nur latent abhandelt (Wernke & Zierer, 2017). Dem gegenüber wird die Planung des Unterrichts im Refined Consensus Model (RCM) of PCK (2.1.4) im Rahmen des enacted PCKs prominent als Bestandteil des dynamischen Zyklus aus der Unterrichtsplanung (plan), der Durchführung der geplanten Unterrichtsstunde (teach) sowie der Reflexion (reflect) abgebildet (Carlson et al., 2019). Im PID-Modell nach Blömeke, Gustafsson und Shavelson (2015) kann hingegen das Planungswissen in die Dispositionen der Lehrkraft (2.1.3) eingeordnet werden.

In einer allgemeinen Beschreibung wird die Unterrichtsplanung als die Gesamtheit aller „dem Unterricht vorausgehenden Maßnahmen bezeichnet, die Lehren und Lernen im Unterricht optimieren sollen“ (Gassmann, 2013, S. 105). Diese Beschreibung kann durch eine reflektierende Komponente, die das Bewerten des vorangegangenen Unterrichts einschließt, ergänzt werden (Kiper & Mischke, 2009). Dabei sollte die Unterrichtsplanung nicht ein starres Korsett darstellen, sondern einen flexiblen Umgang mit neuen Unwägbarkeiten ermöglichen (Klafki, 2007). Die Planungskompetenz wird im Zuge der theoretisch fundierten Ausbildung erworben und im Laufe der Berufsausübung durch praktische Erfahrungen sowie mittels Teilnahme an Weiterbildungsmaßnahmen erweitert (Sandfuchs, 2009). Somit ist die Planungskompetenz als erlernbar zu betrachten (König et al., 2015; Plöger, 2008).

Es befassen sich allerdings nur wenige Arbeiten mit der empirischen Erfassung und Modellierung der Planungskompetenz von Lehrkräften, sodass diese Kompetenzfacette bislang unzureichend abgebildet ist (Gassmann, 2013; König et al., 2015; Schröder et al.,

2020; Schüle et al., 2017; Weingarten, 2019; Zierer et al., 2015). In der allgemeinen Didaktik sind diverse Modelle zur Planung des Unterrichts vorzufinden (K.-H. Arnold & Koch-Priewe, 2010; Kron et al., 2014), wobei das Perspektivschema zur Unterrichtsplanung nach Klafki (2007) eines der Bekanntesten ist.

Dazu formuliert Weingarten (2019) in Anlehnung an Glodowski und Funke (1990) grundsätzliche Basiskompetenzen des Planens, denen die Facetten der Planerstellung und Planausführung zugeordnet werden können. Im Rahmen der Planerstellung sollen die beabsichtigten Inhalte zu sinnhaften Teilschritten sequenziert werden, die dann in einer bestimmten Reihenfolge einen roten Faden (H. Meyer, 2018) ergeben. Dabei sind verschiedene Rahmenbedingungen, wie z. B. zeitliche oder personenbezogene Ressourcen, zu beachten. Des Weiteren stellt in diesem Zusammenhang die Fähigkeit, mögliche Problem-situationen der Unterrichtsstunde zu identifizieren und daraus Handlungsalternativen im Vorfeld zu generieren, eine wichtige Komponente dar. Im Zuge der Planausführung sollte bei der Durchführung des Unterrichts der Ist-Soll-Zustand der Planung überwacht und mögliche Störungen durch Handlungsalternativen antizipiert werden.

Im naturwissenschaftlichen Bereich wird häufig das Modell der didaktischen Rekonstruktion nach Kattmann et al. (1997) für die Unterrichtsplanung rezipiert (Abbildung 2-5).

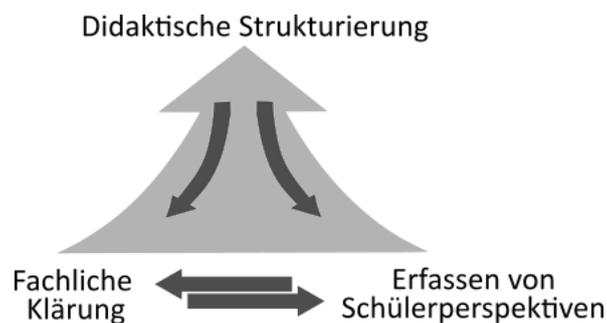


Abbildung 2-5: Modell der didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al., 1997)

Hierbei bilden die Erfassung von Lernerperspektiven, die fachliche Klärung und didaktische Strukturierung (Design von Lernangeboten) ein Triplet (Kattmann, 2007). Die Lernerperspektiven werden als Präkonzepte gesehen, die der Lernende durch lebensweltliche Erfahrungen gesammelt hat (Nerdel, 2017). Dabei ist zu beachten, dass diese ein persönliches Konstrukt darstellen, die aktiv durch den Lernenden im Unterrichtsprozess modifiziert, bereichert und differenziert werden (Kattmann et al., 2005). Im Zuge der fachlichen Klärung, die der Analyse der Schülervorstellungen gleichgestellt ist (Reinfried et al., 2009), sollen beispielweise fachwissenschaftliche Aussagen zu bestimmten Themenbereichen aufgeklärt und deren Grenzen erfasst werden (Kattmann, 2007). Aufgrund der Komplexität von fachwissenschaftlichen Sachverhalten müssen diese an die Fähigkeiten der Lernenden angepasst, auf die grundlegende Kernaussage reduziert und als aufbauende Unterrichtselemente konzipiert werden (Kattmann et al., 1997). Dieser Prozess wird als Elementarisierung bezeichnet (Parchmann, 2013) und bildet mit den Lernerperspektiven die Grundlage für die didaktische Strukturierung (Kattmann, 2005; Nerdel,

2017). Dabei wird die didaktische Strukturierung als Gestaltungsprozess, „der zu grundsätzlichen und verallgemeinerbaren Ziel-, Inhalts- und Methodenentscheidungen für den Unterricht führt“ (Kattmann, 2007, S. 96), angesehen.

Aufbauend auf das Modell von Blömeke, Gustafsson und Shavelson (2015) (2.1.3) und der Erfassung von schriftlichen Unterrichtsplanungen (König et al., 2015), ist das schematische Kompetenzmodell zur Planungskompetenz (Abbildung 2-6) entstanden (König et al., 2017). Hierbei hängt die Planungskompetenz von den Dispositionen der Lehrkraft und den Unterrichtsbedingungen ab und wird als situationsspezifische Fähigkeit mit den Komponenten des Wahrnehmens, Interpretierens und Entscheidens betrachtet (König, 2019).

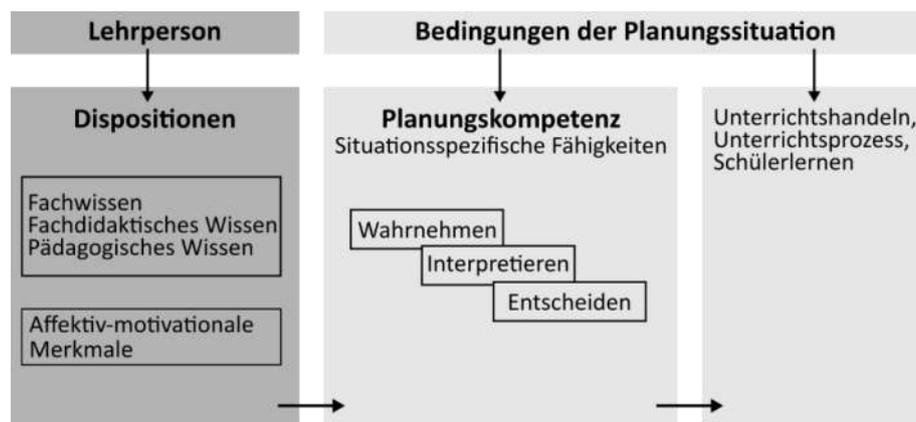


Abbildung 2-6: Schematisches Kompetenzmodell zur Planungskompetenz (König, 2019)

K.-H. Arnold und Koch-Priewe (2010) führen eine Synthese mehrerer Modelle durch und stellen dadurch eine „Didaktische Analyse“ für die Unterrichtsplanung auf (Tabelle 2-2):

Tabelle 2-2: „Didaktische Analyse“ für die Unterrichtsplanung (K.-H. Arnold & Koch-Priewe, 2010)

Didaktische Analyse
(1) Analyse der Schüler, Schul- und Lehrpersonenvoraussetzungen
(2) Positionierung der Planungseinheit in den Planungshorizonten
(3) Intentionen
(4) Inhaltliche und thematische Analyse
(5) Grob- und Feinziele sowie Verfahren zur Zielerreichungsfeststellung
(6) Methodische Analyse
(7) Medienwahl
(8) Binnendifferenzierung
(9) Sequenzierung des Unterrichtsverlaufs

Wird eine Unterrichtsstunde mit einem offenen, schülerorientierten Ansatz (Helmke, 2015) geplant, sollte laut Peterßen (2011) der Unterrichtsplan eine gewisse Flexibilität

aufweisen, um auf Veränderungen im Lehrprozess reagieren zu können. Dazu sollten Handlungsalternativen im Zuge der Unterrichtskonzeption eingeplant werden, die die Lehrkraft bei Unvorhersehbarkeiten, wie z. B. Störungen oder Verständnisschwierigkeiten, alternativ verwenden kann oder welche den Lernenden zur Auswahl stehen.

Bei einer Inhaltsanalyse von Ratgebern zur Unterrichtsplanung für weiterführende Schulen ($n = 15$) konnten Vogelsang und Riese (2017) ermitteln, dass die Ratgeber vor allem einen Bezug zu den Wirkungen der Unterrichtsplanung auf Lernende (93 %) herstellen und Merkmale eines guten Unterrichts (53 %) einbeziehen. Des Weiteren konnten Metakriterien einer qualitativvollen Unterrichtsplanung, wie z. B. Variabilität (47 %) oder Stimmigkeit (27 %), über alle Ratgeber gemittelt identifiziert werden (Vogelsang & Riese, 2017).

Ein Fokus in der empirischen Forschung wird besonders auf die Entwicklung der Planungskompetenz im Laufe der Ausbildung gesetzt. Eine Studie zur Entwicklung des Planungswissens von Studierenden und Berufseinsteigern in der Schweiz zeigt, dass das Planungswissen im Verlauf des Studiums signifikant zunimmt und in den ersten Berufsjahren auf einem konstanten Niveau bleibt (Baer et al., 2011). Dieses Ergebnis konnte im Rahmen einer Testung von Lehramtsstudierenden der Geschichte ($n = 365$) abgebildet werden, bei denen das Planungswissen im Studienverlauf sukzessive ($F(2,362) = 30.248, p < 0.001, \eta^2 = 0.143$) anstieg (J. Wolf et al., 2017). Hingegen veränderte sich bei Bach (2013) die selbsteingeschätzte, allgemeindidaktische Planungskompetenz von Studierenden nur im Laufe eines Schulpraktikums mit Unterrichtsversuchen aber nicht im weiteren Verlauf des Studiums. Auch das Praxissemester im Zuge der universitären Ausbildungsphase scheint für die Planungsfähigkeit der Studierenden förderlich zu sein (Schröder et al., 2020).

Wird der Planungsprozess von Studierenden des Mittelschullehramts analysiert, stehen u. a. inhaltliche Probleme im Vordergrund, die durch Zuhilfenahme von Schulbüchern als Planungsgrundlage gelöst werden (A. Seel, 1997). Dabei zeigt sich, dass die Inhalte aus den Schulbüchern zumeist komplett oder mit inhaltlichen Veränderungen in der Reihenfolge übernommen werden. Ähnliche Befunde lassen sich bei Deutsch-, Mathematik- und Chemielehrkräften im Zuge der Studie von Tebrügge (2001) finden, die zusätzlich aufzeigt, dass selten konkrete Ziele ausformuliert werden und strukturierte Verlaufsplanungen vorliegen. In einer Analyse der schriftlichen Unterrichtsplanungen von Berliner Lehrkräften ($n = 106$) zu Beginn und Ende des Referendariats nehmen die Planungskompetenzen der Teilnehmenden signifikant ($t(104) = -6.66, p < 0.001, d = 0.8$) zu (König et al., 2015).

Werden die Lehrkräfte verschiedener Schularten hinsichtlich ihrer Unterrichtsplanung verglichen, so kann gezeigt werden, dass die Grundschullehrkräfte tendenziell mehr die Schülervoraussetzungen berücksichtigen, während Realschullehrkräfte u. a. den Stundenaufbau, die Lehrplanverortung und die Lernzielkontrolle als wesentliche Merkmale der Stundenplanung betrachten (Haag & Streber, 2017).

Bei der Planung sollten laut Weingarten (2019) die schulischen Rahmenbedingungen beachtet werden. Hierbei kann einerseits zwischen den proximalen, welche die direkte Unterrichtsebene betreffen und andererseits den distalen Merkmalen, die Faktoren auf der übergeordneten Schulebene beinhalten, unterschieden werden (Hertel et al., 2010).

Tabelle 2-3: Schulische Rahmenbedingungen nach Hertel et al. (2010)

Distale Merkmale

- Ausstattung der Schule mit (technischen, räumlichen, personellen) Ressourcen
- Entscheidungsspielräume bezüglich der Ressourcen
- Schulklima
- Praktiken der Leistungsbeurteilung sowie Maßnahmen der Qualitätssicherung
- Maßnahmen zur Förderung von Schülerinnen und Schüler mit Migrationshintergrund

Proximale Merkmale

- Zeitliche und personelle Begebenheiten des Unterrichts (Lernzeit und Klassengröße)
- Klassenführung und die kognitive Aktivierung

Aufgrund der gesteigerten Komplexität bei selbstgesteuerten Lernprozessen, z. B. durch erhöhte metakognitive Anforderungen (Wirth et al., 2008), muss hinsichtlich der Klassenzusammensetzung der Kompositionseffekt beachtet werden, da aufgrund von leistungsmäßigen, sozialen, kulturellen und lernbiografischen Unterschieden sich unerwartete Entwicklungsverläufe bezüglich des Unterrichtserfolgs ausbilden können (Baumert et al., 2006). Dies zeigt sich auch in den Unterschieden in den Lernzuwächsen bezüglich der Schulformen, sodass ein Schereneffekt mit Vorteilen für die weiterführenden Schulen zu beobachten ist (M. Becker et al., 2006; Kunter, 2005).

Bei Betrachtung der zeitlichen Gegebenheiten des Unterrichts ist für das Experimentieren der zeitliche Rahmen einer einzigen Unterrichtsstunde sowie die Lernzeit über einen längeren Zeitraum von Bedeutung. Dabei ist zu beachten, dass zwischen der tatsächlichen Unterrichtszeit, die den formal durchgeführten Unterrichtsstunden entspricht, und der Lernzeit, die aktiv von den Lernenden genutzt wird, unterschieden wird (Helmke, 2015). Hierzu zeigt sich ein Konsens in der Unterrichtsqualitätsforschung, die einen hohen Anteil aktiver Lernzeit seitens der Schülerinnen und Schüler als Voraussetzung für einen hohen Lernerfolg sieht (Hattie, 2015; Helmke, 2007a, 2015; H. Meyer, 2018). Die Klassenführungskompetenz der Lehrkraft spielt hierbei eine entscheidende Rolle, da hierunter Maßnahmen, wie z. B. die Gruppenmobilisierung oder Disziplinierung, gefasst werden, die zur Stabilität und Erhöhung der Lernzeit bei den Schülerinnen und Schüler führen (Drechsel & Schindler, 2019; Gräsel & Göbel, 2011). Besonders im Hinblick auf offene Experimentierformen, die einen höheren Komplexitätsgrad implizieren können, sollte eine quantitative Erhöhung der aktiven Lernzeit vollzogen werden (Zion et al., 2004).

Ebenfalls können die materiellen und personellen Ressourcen einen Einfluss auf die Umsetzung von geöffneten Experimentieransätzen haben. Beispielweise kann sich die fehlende Qualifizierung der Lehrkraft bezüglich der offenen Experimentierformen hinderlich auf die Implementierung dieser Art des Experimentierens auswirken (vgl. 2.4.4.3), wobei die Einschätzung durch die Schulleitungen bezüglich der Qualifikation ihrer naturwissenschaftlichen Lehrkräfte einen positiven Trend im Rahmen der PISA-Befragung 2015 aufzeigt (Sälzer et al., 2016). Des Weiteren sollte bei der Planung beachten werden, dass die Experimente eventuell an die materielle Ausstattung der Chemiefachräume angepasst werden müssen (Reiners & Saborowski, 2017). Hierbei zeigt sich eine Diskrepanz zwischen den Schularten auf, bei der 61 % der gymnasialen Schulleiter die Ausstattung der naturwissenschaftlichen Fachräume als positiv bewerten, wohingegen dieses Bild bei anderen Schularten nur 41 % der Schulleitungen bestätigen können (Sälzer et al., 2016). Ein ähnliches Bild bezüglich der materiellen Ausstattung in den Naturwissenschaften kann die PISA-Studie 2006 aufzeigen, nach der den deutschen Schulen „ein im internationalen Vergleich unauffälliges Bild“ (Senkbeil et al., 2007, S. 184) attestiert wird. Ein weiterer Aspekt der materiellen Ressourcen umfasst den in den Bildungsstandards und Lehrplänen geforderten Einsatz von digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht (Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst, 2016; KMK, 2016, 2020). Die Lehrkräftebefragung ($n = 1218$) im Rahmen des deutschen Länderindikators 2017 zeigt, dass 62,5 % der befragten Lehrpersonen die digitale Ausstattung in den MINT-Fachräumen als ausreichend für digitale Anwendungen befinden und zudem 87,5 % der Fachräume eine entsprechende WLAN-Verbindung aufweisen (Lorenz & Endberg, 2017). Entsprechende Ergebnisse können auch bei einer telefonischen Befragung von bayerischen Lehrkräften ($n = 410$) aufgezeigt werden (Sailer et al., 2017). Wiederum weist die ICILS-Studie 2018 daraufhin, dass im internationalen Vergleich die IT-Ausstattung der deutschen Schulen noch nicht anschlussfähig ist (Eickelmann, Gerick et al., 2019).

Des Weiteren nahmen die Lehrkräfte im Länderindikator 2017 eine Selbsteinschätzung bezüglich des TPACK nach Mishra und Koehler (2006) vor (vgl. 2.1.4). Hierbei geben die Lehrpersonen an, dass sie digitale Medien für die Vermittlung von Fachinhalten sinnvoll einsetzen (76,6 %) und digitale Medien adäquat mit analogen Lehrmethoden (73,4 %) kombinieren können. Nur 43,0 % der Befragten sind in der Lage, ihre digitalen Kompetenzen weiterzugeben (Endberg & Lorenz, 2017).

2.3 Professional Development

2.3.1 Begriffsbestimmung

Die Lehrkräftebildung umfasst nicht nur die universitäre Ausbildung (erste Phase) sowie das Referendariat (zweite Phase), sondern auch eine lebenslange Weiterbildung im Beruf (dritte Phase) (Fussangel et al., 2016; Terhart, 2005). Besonders die dritte Phase, welche eine kontinuierliche Weiterqualifikation der Lehrkräfte impliziert, sollte aufgrund der Komplexität des Lehrberufs mit seinen stetigen wandelnden Anforderungen, z. B. in Form von Neugestaltung der Lehrpläne oder den verstärkten Einsatz von digitalen Medien, nicht unterschätzt werden (Altrichter, 2010; Hascher, 2011; Herzog & Makarova, 2011). Diese Tatsache spiegelt sich auch in der folgenden, möglichen Definition einer Lehrkräftefortbildung wider: „Sie dient der Erhaltung und Erweiterung der beruflichen Kompetenz der Lehrpersonen und trägt dazu bei, dass Lehrerinnen und Lehrer den jeweils aktuellen Anforderungen ihres Lehramtes entsprechen und den Erziehungs- und Bildungsauftrag der Schule erfüllen können“ (Daschner, 2004, S. 291). Insbesondere sollte beachtet werden, dass die dritte Phase im Vergleich zu den ersten beiden Phasen einen wesentlich größeren Zeitabschnitt einnimmt (Fischler, 2015).

Lehrkräftefortbildungen werden im englischsprachigen Raum als professional development (PD) bezeichnet (Gräsel et al., 2006; Törner, 2015; Wilson, 2013). Dabei können sie in formale Maßnahmen, die konkrete geplante Veranstaltungen umfassen, und in non-formale Maßnahmen, die z. B. das Fortbilden durch die Lektüre von Fachzeitschriften darstellen, untergliedert werden (Fussangel et al., 2016). Dies ist wiederum mit der Aussage „sum total of formal and informal learning experiences throughout one’s career from preservice teacher education to retirement“ (Fullan & Steigelbauer, 1991, S. 326) konform. Das primäre Ziel der Fortbildungen ist, die Kompetenzen der Lehrenden bezüglich der Facetten des Professionswissen zu steigern, sodass folglich die Lernenden mit der steigenden Unterrichtsqualität eine bedingte Verbesserungen ihrer Leistungen zeigen (Riedinger, 2010). Dies kann durch zahlreiche empirische Studien belegt werden (Blömeke, 2004; Lipowsky, 2010). Zu diesem Wirkungsprozess von Fortbildungen sind diverse, lineare sowie zirkuläre Wirkungsmodelle in der Literatur zu finden (Clarke & Hollingsworth, 2002; Desimone, 2009; Guskey, 2002). Das zirkuläre Interconnected Model of Professional Growth (IMPG) (Abbildung 2-7) nach Clarke und Hollingsworth (2002), das der Kritik der limitierenden Abbildung der Wirkungsebenen von PDs durch lineare Modelle (Opfer & Pedder, 2011) begegnet, ist mittlerweile sowohl Gegenstand der PD-Forschung als auch theoretische Basis für die Entwicklung von PD-Maßnahmen (Coenders & Terlouw, 2015; Coenders & Verhoef, 2019; Hahn, 2018; Justi & van Driel, 2006; Maass & Engeln, 2019; Witterholt et al., 2012). Das IMPG setzt sich dabei aus der persönlichen Domäne, die das Wissen, die Überzeugungen sowie die Einstellungen einer Lehrkraft repräsentiert und der Domäne der Konsequenzen, welche die Lernergebnisse der Schülerinnen und Schüler darstellt, zusammen (Clarke & Hollingsworth, 2002). Des Weiteren beinhaltet das Modell die externe Domäne mit den Informationsquellen und die Praxis-Domäne, welche die praktische Umsetzung im Unterricht widerspiegelt (Maass &

Engeln, 2019). Eine Maßnahme kann an jeder Domäne ansetzen und Veränderungen in einer Domäne werden durch die Prozesse der Reflexion und des Handelns auf andere Domänen übertragen (Hahn, 2018; Witterholt et al., 2012).

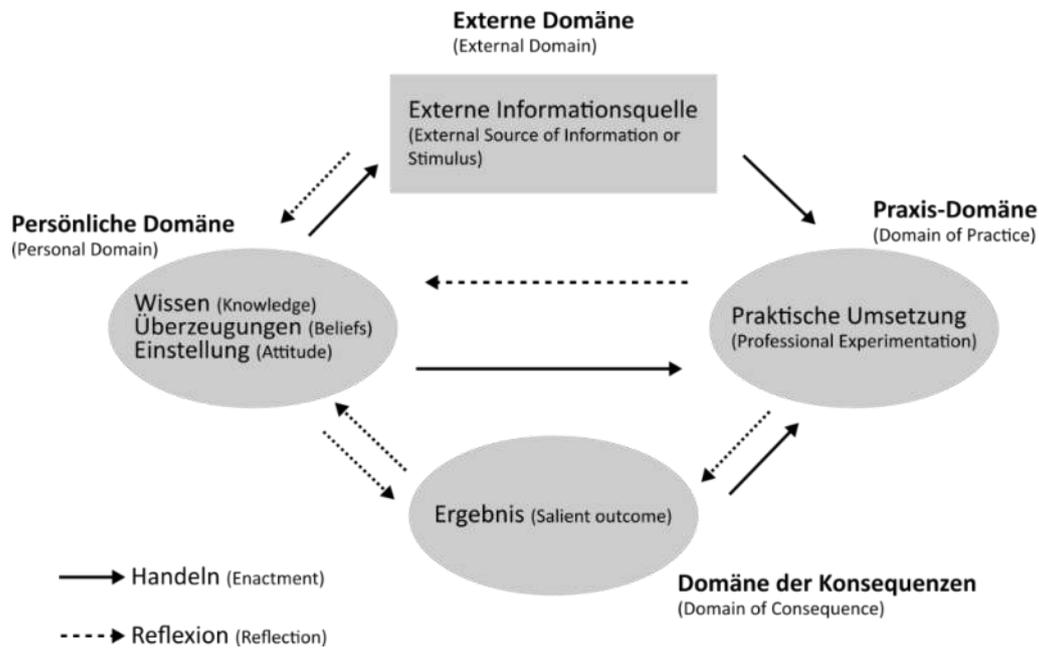


Abbildung 2-7: Interconnected Model of Professional Growth (IMPG) nach Clarke und Hollingsworth (2002)

Um den Erfolg von Fortbildungsmaßnahmen valide abschätzen zu können, sind im deutschsprachigen Raum zwei Modelle zu finden (Lipowsky, 2010; Lipowsky & Rzejak, 2015; Reischmann, 2018), die in Anlehnung an Kirkpatrick (1979) konzipiert sind und vergleichend in Tabelle 2-4 aufgezeigt sind.

Tabelle 2-4: Modelle zur Wirkung von Lehrkräftefortbildungen

Ebenenmodell nach Lipowsky (2010)		Stufenmodell nach Reischmann (2018)	
Ebene 1	Reaktionen und Einschätzungen der teilnehmenden Lehrpersonen	Stufe 1	Meinung
Ebene 2	Erweiterung der Lehrerkognition	Stufe 2	Wissen/Können
Ebene 3	Unterrichtspraktisches Handeln	Stufe 3	Anwendung
Ebene 4	Effekte auf Schülerinnen und Schüler	Stufe 4	Wirkung

Auf der ersten Ebene werden nach Lipowsky (2010) im Rahmen einer Fortbildungsevaluation der Erfolg anhand der Zufriedenheit und Akzeptanz aus Sicht der Teilnehmenden

erfasst. In der zweiten Ebene werden unter den Lehrerkognitionen das Wissen, die Überzeugungen sowie die motivationalen Überzeugungen der Lehrkräfte verstanden, sodass Veränderungen dieser Facetten im Zuge von PD-Maßnahmen von Interesse sind. Inwiefern Fortbildungen einen Einfluss auf das unterrichtliche Handeln haben und eine damit erwünschte, erhöhte Unterrichtsqualität eintritt, wird in der dritten Ebene betrachtet. Auf der vierten Ebene werden der Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler sowie deren Lernmotivation, die infolge des PDs einer Lehrkraft eventuelle Veränderungen aufzeigen, betrachtet. Zu beachten ist, dass trotz der linearen Abfolgen der Ebenen oder Stufen in den Modellen nach Lipowsky (2010) und Reischmann (2018), diese nicht als ein rein kausaler Prozess zu verstehen sind, da sich beispielsweise Veränderungen in den Überzeugungen von Lehrkräften erst durch einen Erfolg eines selbst getesteten, neuen Unterrichtsansatzes einstellen können (Reinold, 2015).

Darüber hinaus werden ähnliche Ziel- oder Wirkungsbereiche von effektiven Lehrkräftefortbildungen im naturwissenschaftlichen Bereich (Tabelle 2-5), die in Rahmen von Überblicksarbeiten identifiziert worden sind, auch von anglo-amerikanischen Autoren genannt (Capps et al., 2012; van Driel & Berry, 2012).

Tabelle 2-5: Anknüpfungspunkte für effektive Lehrkräftefortbildungen nach Capps et al. (2012)

Auswahl an möglichen Ziel- oder Wirkungsbereichen von PD-Maßnahmen
Förderung des Wissens der Lehrkräfte
Bezug zu Einstellungen und Wertesystem
Bezug zum Unterrichtshandeln
Steigerung des Lernerfolgs der Lernenden

Abschließend ist in diesem Zusammenhang aufzuzeigen, dass die National Science Education Standards explizit die Realisierung von Fortbildungsformaten, die das Wissen über geöffnete Unterrichtsansätze sowie Experimentierformen fördern (National Research Council, 2000, 2012), fordern: „Programs are needed that explicitly attend to inquiry — both as a learning outcome for teachers and as a way for teachers to learn science subject matter“ (National Research Council, 2000, S. 112).

2.3.2 Einflussfaktoren und Effektivität von Lehrkräfte-Fortbildungen

Allgemein weisen Meta-Analysen von Timperley et al. (2007), Yoon et al. (2007) und Hattie et al. (2014) mit Effektstärken von $d = .66$, $d = .54$ sowie $d = .62$ auf die positiven Wirkungen von Fortbildungsmaßnahmen bezüglich der Leistung der Lernenden hin. Für die Naturwissenschaften ergeben sich keine einheitlichen Tendenzen. Während Tinoca (2004) einen positiven Effekt ($d = .45$) von Fortbildungen dokumentiert, konnten Blank und las Alas (2009) keine signifikanten Effekte nachweisen. Wiederum ist anzumerken, dass diese Befunde kein repräsentatives Abbild für Lehrkräftebildungen in Deutschland

darstellen (Lipowsky & Rzejak, 2019). Um einerseits Faktoren für eine erfolgreiche Fortbildungsmaßnahme zu benennen und miteinander zu vernetzen, andererseits eine differenzierte Forschung bezüglich PD zu ermöglichen, stellt Lipowsky (2014) ein Angebots-Nutzungs-Modell auf (Abbildung 2-8), das sprachlich sowie strukturell an Helmke (2007b) (2.1.1) angelehnt ist.

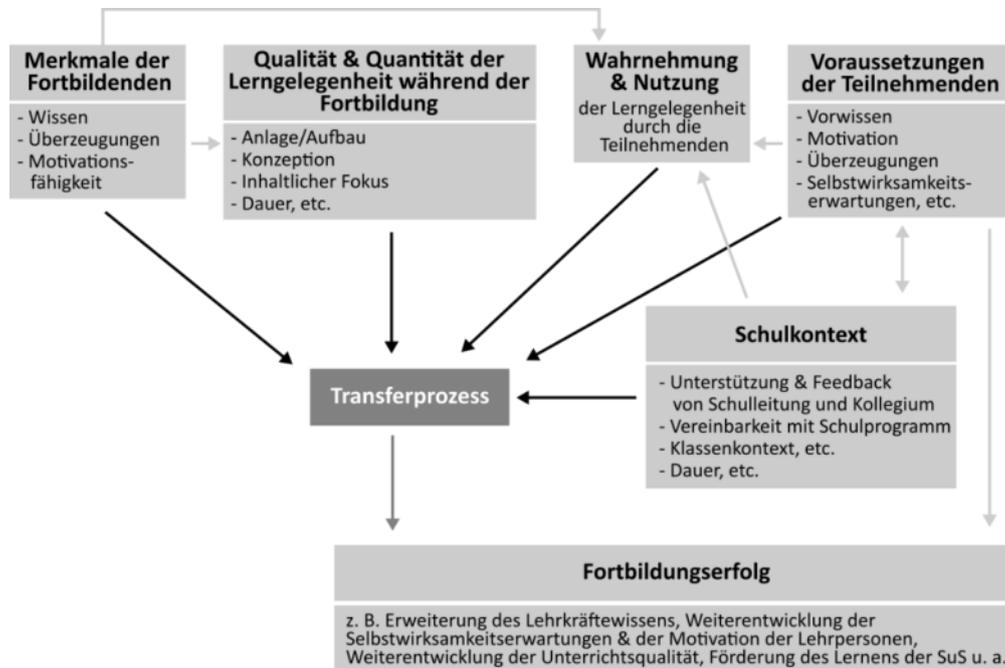


Abbildung 2-8: Vereinfachtes Angebots-Nutzungs-Modell der Lehrkräftefortbildung (Lipowsky, 2014)

Eine zentrale Rolle des vereinfachten Angebots-Nutzungs-Modells nach Lipowsky (2014) stellt die Nutzung sowie die Wahrnehmung der Teilnehmenden bezüglich des Fortbildungsangebots dar. Hierbei spielen bestimmte, begrenzende Determinanten seitens der Teilnehmenden, wie z. B. das Vorwissen, die Motivation sowie die Überzeugungen, eine wichtige Rolle für den Fortbildungserfolg (Kennedy, 2016; Landry et al., 2009; Lipowsky, 2019; Rank et al., 2011). Ein weiterer, wesentlicher Faktor für den Fortbildungserfolg ist die Quantität der Lerngelegenheit während der Fortbildung, wobei die reine Teilnahmehäufigkeit an Fortbildungsmaßnahmen kein Prädiktor für die Qualität des Unterrichts zu sein scheint (Lipowsky, 2011). Die Effektivität von sehr kurzen Fortbildungsmaßnahmen („One-shots“) ist aufgrund der fehlenden Möglichkeit zur Veränderung der Handlungsrountinen gering (Cochran-Smith & Lytle, 1999; Gräsel et al., 2006; Guskey & Yoon, 2009). Allerdings zeigt sich wiederum, dass kein eindeutiger, linearer Zusammenhang zwischen der Fortbildungsdauer und der bedingten Effektivität dieser vorhanden ist (Garet et al., 2001; Kennedy, 1998; Timperley et al., 2007), sondern eine Fortbildungsmaßnahme im Umfang von zwei Tagen tendenziell erfolgsversprechender zu sein scheint als kurze Fortbildungsmaßnahmen (Yoon et al., 2007). Darüber hinaus bildet die Qualität, die maßgeblich von den professionellen Merkmalen der Fortbildenden, wie z. B. deren Expertise, motivierende Fähigkeiten und begleitende Materialien (Dreher et al., 2018; Jäger & Bodensohn, 2007), beeinflusst wird, einen möglichen Faktor für die Wahrnehmung der Fortbildung durch die Teilnehmenden und für den Erfolg der

Maßnahme (Lipowsky, 2014). Die geringe Unterstützung durch das Kollegium oder die Schulleitung sowie die mangelnde Chance auf Umsetzung der Fortbildungsinhalte aufgrund unterschiedlicher Ziele der schulischen Ausbildung können als Faktoren im Schulkontext (Lipowsky, 2014) den Erfolg der Maßnahme schmälern (Dreer et al., 2017; van Veen et al., 2012). In der Abbildung 2-4 werden zum Vergleich ausgewählte Faktoren einer effektiven Fortbildung nach Timperley et al. (2007) aufgezeigt, wobei eine wesentliche Kongruenz zu Lipowsky (2014) vorhanden ist.

Tabelle 2-6: Faktoren für effektive PD-Maßnahmen nach Timperley et al. (2007)

Faktoren einer effektiven Fortbildung
Lernangebote für Lehrpersonen über längeren Zeitraum
Einbeziehung externer Experten
Aktive Beteiligung der Lehrpersonen an Maßnahme
Evaluation des bisherigen Lehrverhaltens seitens der Lehrenden
Diskussion der Teilnehmenden über Inhalte der Maßnahme
Unterstützung der Maßnahme durch Schulleitung

Im anglo-amerikanischen Raum werden für den naturwissenschaftlichen Bereich zusätzlich folgende, mögliche Einflussfaktoren einer effektiven Fortbildungsmaßnahme (Tabelle 2-7) aufgeführt (Capps et al., 2012; Darling-Hammond & McLaughlin, 2011; Loucks-Horsley, 2010).

Tabelle 2-7: Mögliche Merkmale einer effektiven PD im naturwissenschaftlichen Bereich (Capps et al., 2012; Darling-Hammond & McLaughlin, 2011; Loucks-Horsley, 2010)

Merkmale einer effektiven PD
Thematisierung von geöffneten Experimentierformen
Einbindung der Teilnehmenden in praktische Experimentierphase
Förderung der Zusammenarbeit zwischen den Teilnehmenden und Fortbildnern
Direkter Praxisbezug zum Unterricht
Fortlaufende und langfristige Unterstützung der Teilnehmenden

Diese Merkmale stehen im Einklang mit den Befunden von anglo-amerikanischen Allgemeinpädagogen, die beispielsweise ebenfalls die aktive Teilnahme, den Praxis- sowie Lehrplanbezug und die fortlaufende Unterstützung der Teilnehmenden als effektive Merkmale einer PD betonen (Darling-Hammond & McLaughlin, 2011; Desimone, 2009). Im Rahmen einer Befragung von Mathematiklehrkräften aller Schulformen in Deutschland ($n = 1715$) wurden deren Erwartungen und Wünsche bezüglich der Gestaltung von Fortbildungsmaßnahmen erfasst (Jäger & Bodensohn, 2007). Hierbei zeigt sich, dass die Akzeptanz der Fortbildungen gesteigert werden kann, wenn die Teilnehmenden konkrete

und erprobte Beispiele aus der Unterrichtspraxis sowie Materialien zur Mitnahme erhalten. Zudem stellen neben dem Aufzeigen von neuen methodischen Ansätzen auch der Anknüpfungspunkt zu den Bildungsstandards sowie deren resultierende Umsetzung mögliche Erwartungen an Fortbildungen dar. Von Seiten der Fortbildenden erwarten die Lehrkräfte eine hohe Motivation und eine wissenschaftliche Fundierung der Fortbildungsinhalte. Des Weiteren sollte die Fortbildung einerseits die Gelegenheit zum Austausch von Erfahrungen unter den Teilnehmenden sowie mit dem Fortbildenden ermöglichen, andererseits die Teilnehmenden aktiv in die Fortbildung einbinden.

Bei einer Befragung von Chemielehrkräften aller Sekundarstufen in fünf deutschen Bundesländern ($n = 852$) konnte bezüglich der Erwartungen an Fortbildungen gezeigt werden, dass eine hohe Priorität dem Kennenlernen von neuen schulrelevanten Experimenten sowie der Mitnahme von Materialien eingeräumt wird (Daus et al., 2004). Zudem ist das Aufzeigen von neuen methodischen Ansätzen sowie fachlichen Erkenntnissen für die Chemielehrkräfte von Bedeutung. Die Dauer einer regionalen Fortbildung wird nach Wunsch der Lehrkräfte mit halb- bis ganztägig angegeben. Ähnliche Ergebnisse berichten auch Neu und Melle (1998). In einer weiteren Lehrkräftebefragung ($n = 273$) zeigt sich, dass sich die Chemielehrkräfte Fortbildungen wünschen, die thematisch Aspekte der naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen sowie Prozesse der Erkenntnisgewinnung behandeln (Ropohl et al., 2016). Analoge Feststellungen liefert auch eine Interviewstudie ($n = 96$) von S. Schmidt und Neu (2004), die zusätzlich neue Inspirationen sowie die Umsetzbarkeit der Fortbildungsinhalte hervorheben.

Insgesamt zeigen sich Übereinstimmungen mit Lehrkräftebefragungen aus dem naturwissenschaftlichen Bereich von Garet et al. (2001) ($n = 1027$) sowie Penuel et al. (2007) ($n = 454$) aus dem anglo-amerikanischen Raum, die beispielsweise ebenfalls angeben, dass laut den Lehrkräften die Fortbildungsinhalte einen Bezug zu den Bildungsstandards sowie zur Unterrichtspraxis aufweisen und die Teilnehmenden aktiv in die Maßnahme eingebunden werden sollten.

Laut den Standards für die Lehrerbildung wird von den Lehrkräften folgendes gefordert: „Lehrerinnen und Lehrer entwickeln ihre Kompetenzen ständig weiter und nutzen wie in anderen Berufen auch Fort- und Weiterbildungsangebote, um die neuen Entwicklungen und wissenschaftlichen Erkenntnisse in ihrer beruflichen Tätigkeit zu berücksichtigen“ (KMK, 2019b, S. 3).

Hinsichtlich der Fortbildungsaktivität gaben im Rahmen der IQB-Ländervergleichsstudie 2012 im Mittel 87,5 % der befragten Chemielehrkräfte an, mindestens eine Fortbildung im Zeitraum von 2010 bis 2012 besucht zu haben, wobei jedoch bundesländerspezifische Unterschiede vorhanden sind (D. Richter et al., 2013). Um Hinderungsgründe betreffend der Fortbildungsteilnahme von Chemielehrkräften zu identifizieren, führten Daus et al. (2004) zusätzlich eine Interviewstudie ($n = 96$) durch. Als organisatorische Faktoren für die Nichtteilnahme werden dabei die Entfernung, der Zeitpunkt, die Kosten, die geringe Auswahl und die Länge der Fortbildungen herausgestellt. Auf individueller Ebene werden Fortbildungen des Öfteren als zusätzliche Belastung zum Arbeitsalltag angesehen. Ähnliche Befunde liefern auch D. Richter et al. (2013), bei denen im Zuge der IQB-Ländervergleichsstudie 2012 die naturwissenschaftlichen Lehrkräfte als Hinderungsgründe

den zeitlichen Aspekt sowie die fehlenden Kompensationsmöglichkeiten des ausfallenden Unterrichts angeben. Als weitere Faktoren, die eine Teilnahmebarriere darstellen, werden die empfundene, mangelnde Qualität der Fortbildungsmaßnahmen (E. Richter et al., 2018) sowie ein geringer Praxisbezug identifiziert (Neu & Melle, 1998).

2.4 Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung

2.4.1 Erkenntnisgewinnung in den Bildungsstandards und Lehrplänen

Aufgrund der ernüchternden Ergebnisse der deutschen Schülerinnen und Schüler in den internationalen Vergleichsstudien TIMSS 1997 (Baumert & Lehmann, 1997) und PISA 2000 (Baumert, 2012) sind durch die Kultusministerkonferenz länderübergreifende, verbindliche Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss in den Naturwissenschaften veranlasst worden (Klieme et al., 2007; KMK, 2005a, 2005b, 2005c). Darauf aufbauend sind die Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife u. a. für das Fach Chemie formuliert worden (KMK, 2020). Die Einführung der Bildungsstandards bedeuteten einen Paradigmenwechsel von einer Input- zu einer Outputorientierung (Hillbrandt & Sintzen-Königsfeld, 2009; Köller, 2008), bei der u. a. der Erwerb von Kompetenzen seitens der Schülerinnen und Schüler im Vordergrund steht (Drüke-Noe et al., 2008). Kompetenzen können dabei folgendermaßen definiert werden:

Die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können (Weinert, 2001b, S. 27).

Im Rahmen der Bildungsstandards sind Kompetenzanforderungen konkretisiert, welche Lernende bis zu einer bestimmten Jahrgangsstufe erreichen sollen (Klieme et al., 2007). Im Fach Chemie sind die Kompetenzbereiche Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung eingeführt worden (KMK, 2005b, 2020). Für den Mittleren Schulabschluss umfasst der Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung das Nutzen von experimentellen Untersuchungsmethoden sowie Modellen (KMK, 2005b) (Tabelle 2-8) und lässt sich nach Wellnitz et al. (2012) in die drei Teilkompetenzbereiche Naturwissenschaftliche Untersuchungen (Scientific Inquiry), Naturwissenschaftliche Modellbildung (Scientific Modelling) und Wissenschaftstheoretische Reflexion (Nature of Science) untergliedern.

Tabelle 2-8: Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung

Experimentelle und andere Untersuchungsmethoden sowie Modelle nutzen

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.

Auf Basis der Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss sind die Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife in den Kompetenzbereichen Sach-, Erkenntnisgewinnungs-, Kommunikations- und Bewertungskompetenz, die miteinander vernetzt sind und gemeinsam die Fachkompetenz in Chemie bilden, erstellt worden (KMK, 2020). Aufgrund des höheren Anforderungsniveaus der Sekundarstufe II sollen nicht nur eigenständig Experimente geplant und durchgeführt werden, sondern es soll der gesamte Erkenntnisgewinnungsprozess reflektiert und Bezüge zu anderen Fachdisziplinen hergestellt werden. Im Vergleich zum Mittleren Schulabschluss sind die Bildungsstandards umfangreicher und differenzierter formuliert (Tabelle 2-9):

Tabelle 2-9: Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife im Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung

Fragestellungen und Hypothesen auf Basis von Beobachtungen und Theorien bilden

Die Lernenden ...

- E1 leiten chemische Sachverhalte aus Alltagssituationen ab;
- E2 identifizieren und entwickeln Fragestellungen zu chemischen Sachverhalten;
- E3 stellen theoriegeleitet Hypothesen zur Bearbeitung von Fragestellungen auf.

Fachspezifische Modelle und Verfahren charakterisieren, auswählen und zur Untersuchung von Sachverhalten nutzen

Die Lernenden ...

- E4 planen, ggf. unter Berücksichtigung der Variablenkontrolle, experiment- oder modellbasierte Vorgehensweisen, auch zur Prüfung von Hypothesen, Aussagen oder Theorien;
- E5 führen qualitative und quantitative experimentelle Untersuchungen – den chemischen Arbeitsweisen und Sicherheitsregeln entsprechend – durch, protokollieren sie und werten diese aus;
- E6 nutzen digitale Werkzeuge und Medien zum Aufnehmen, Darstellen und Auswerten von Messwerten, für Berechnungen, Modellierungen und Simulationen; wählen geeignete Real- oder Denkmodelle (z. B. Atommodelle, Periodensystem der Elemente) aus und nutzen sie, um chemische Fragestellungen zu bearbeiten.
- E7

Erkenntnisprozesse und Ergebnisse interpretieren und reflektieren

Die Lernenden ...

- E8 finden in erhobenen oder recherchierten Daten Strukturen, Beziehungen und Trends, erklären diese theoriebezogen und ziehen Schlussfolgerungen;
- E9 diskutieren Möglichkeiten und Grenzen von Modellen;
- E10 reflektieren die eigenen Ergebnisse und den eigenen Prozess der Erkenntnisgewinnung;
- E11 stellen bei der Interpretation von Untersuchungsbefunden fachübergreifende Bezüge her.

Merkmale wissenschaftlicher Aussagen und Methoden charakterisieren und reflektieren

Die Lernenden ...

- reflektieren Möglichkeiten und Grenzen des konkreten Erkenntnisgewinnungsprozesses sowie der gewonnenen Erkenntnisse (z. B. Reproduzierbarkeit, Falsifizierbarkeit, Intersubjektivität, logische Konsistenz, Vorläufigkeit).
- E12

Die Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss sind in den neuen bayerischen Lehrplänen für Realschulen und Gymnasien fest verankert. Dies kann beispielhaft an der Tabelle 2-10, die Teilausschnitte der Kompetenzerwartungen für den Lernbereich - Wie Chemiker denken und arbeiten - für beide Schulformen beinhaltet, aufgezeigt werden (Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst, 2016, S. 410; ISB, 2020):

Tabelle 2-10: Auszug aus den bayerischen Lehrplänen für das Fach Chemie

Realschule – Wie Chemiker denken und arbeiten

Die Schülerinnen und Schüler ...

- C.9.1
- entwickeln aus Phänomenen des Alltags und aus technischen Vorgängen eigenständig einfache Fragestellungen (auch Hypothesen), die mithilfe chemischer Kenntnisse und Untersuchungsmethoden, insbesondere durch chemische Experimente, zu überprüfen sind.

Standards

E1, E2

Gymnasium – Wie Chemiker denken und arbeiten

Die Schülerinnen und Schüler ...

Standards

C9.1

- setzen grundlegende Arbeitstechniken bei der Durchführung einfacher selbst geplanter oder komplexer angeleiteter Experimente ein. Dabei nehmen sie mithilfe verschiedener Darstellungsformen die Dokumentation, Auswertung und Veranschaulichung der erhobenen Daten bei bekannten Sachverhalten selbständig und bei unbekanntem mit Hilfeleistung vor.

E2, E3, E5,
E6

Ein Vergleich kann auch zu den amerikanischen Bildungsstandards gezogen werden (National Research Council, 1996, 2012), in denen der Standard Scientific Inquiry, der als naturwissenschaftliche Erkenntnismethode übersetzt werden kann (Mayer, 2007b), einen wesentlichen Bestandteil der naturwissenschaftlichen Ausbildung darstellt (Koenen et al., 2016). Hierbei wird dieser Bereich noch in die konkrete Durchführung von naturwissenschaftlichen Untersuchungen („Abilities necessary to do scientific inquiry“) und das grundlegende Verständnis des Erkenntnisgewinnungsprozesses („Understanding about scientific inquiry“) unterteilt (Bybee, 2006; National Research Council, 1996, S. 105). Weiterhin wird u. a. aufgeführt, dass die Schülerinnen und Schüler in Rahmen dieses Standards die Möglichkeit erhalten, Fragen und dazugehörige Untersuchungen zu entwickeln, Daten zu sammeln und diese zuerst in Beziehung zu setzen sowie abschließend kritisch zu reflektieren (National Research Council, 1996). Dies steht auch im Einklang mit den deutschen Bildungsstandards im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung. In dem Framework for K-12 Science Education, der die Bildungsstandards bis zu dem High-School-Abschluss für die naturwissenschaftlichen und ingenieurwissenschaftlichen Fächer abbildet, werden in der Dimension Scientific and Engineering Practices acht Praktiken für den naturwissenschaftlichen Unterricht in Anlehnung an naturwissenschaftliche Tätigkeiten aufgestellt (National Research Council, 2012, S. 49–53):

Tabelle 2-11: Vergleich der Practices for K-12 Classrooms mit den Standards der Erkenntnisgewinnungskompetenz für die allgemeine Hochschulreife

Practices for K-12 Classrooms	Standards der Erkenntnisgewinnungskompetenz für die Allgemeine Hochschulreife
1. Fragen stellen (für die Wissenschaft) und Probleme definieren (für die Technik)	E1, E2
2. Modelle entwickeln und verwenden	E7
3. Planung und Durchführung von Untersuchungen	E4, E5
4. Daten analysieren und interpretieren	E8
5. Verwenden von Mathematik und rechnerischem Denken	Teilweise E6

6. Erklärungen erstellen (für die Wissenschaft) und Lösungen entwerfen (für die Technik)	Teilweise E8 und Kommunikationskompetenz (K8, K9)
7. Argumentation aus Beweisen	Kommunikationskompetenz (K10)
8. Informationen erhalten, auswerten und kommunizieren	Kommunikationskompetenz (K1-K4, K11, K13)

Unterschiede zwischen den Practices for K-12 Classrooms und den Bildungsstandards der KMK können auf den unterschiedlichen Aufbau der gesamten Standards zurückgeführt werden. So kann der Bildungsstandard E11, bei dem im Hinblick auf die Untersuchungsergebnisse fächerübergreifende Bezüge hergestellt werden sollen (KMK, 2005b), in die Dimension „Crosscutting“, die für übergreifende Konzepte steht (National Research Council, 2012), eingeordnet werden. Reflexionsbezogene Bildungsstandards, wie z. B. E10, bei dem die Schülerinnen und Schüler ihre eigenen Ergebnisse sowie Erkenntnisgewinnungsprozesse reflektieren (KMK, 2005b), finden sich nicht direkt in den Practices for K-12 Classroom, sondern nur in dessen Beschreibungen: „Engagement in modeling and in critical and evidence-based argumentation invites and encourages students to reflect on the status of their own knowledge and their understanding of how science works“ (National Research Council, 2012, S. 79).

2.4.2 Definitionsansätze und Ziele des Experimentierens im Unterricht

Der Begriff Experimentieren weist im Rahmen des Bildungskontextes zumeist eine recht geringe Differenzierung in der Terminologie auf und umschreibt in einigen Fällen jegliche praktische, experimentelle Tätigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht (Barzel et al., 2012). Bestätigt wird dies von einer Interviewstudie, in der angehende Lehrkräfte das Experiment zumeist als Lehrmethode und nicht als Methode einer naturwissenschaftlichen Untersuchung sehen (Gyllenpalm & Wickman, 2011). Des Weiteren lässt sich in diesem Zusammenhang aufzeigen, dass das Experiment im Chemieunterricht nicht mit einem Experiment in der realen Forschung gleichzusetzen ist (Höttecke & Rieß, 2015). Ein neuerer Definitionsansatz lautet: „The aim is usually to gain new knowledge or to approve existing knowledge by researching the influence of different variables“ (Sumfleth & Walpuski, 2012, S. 1229). Ein ähnlicher Kontext ist in folgender Definition zu sehen, welche das Experiment als „planmäßige Herbeiführung von (meist variablen) Umständen zum Zweck wissenschaftlicher Beobachtungen“ (Janich, 1995, S. 621) beschreibt. Vorwiegend werden in einschlägigen Überblicksartikeln allgemein gültige Definitionen des Begriffs vermieden (vgl. Hofstein und Lunetta (1982) und Millar (1989)). Allerdings werden übergeordnete Ziele des Experimentierens aufgezeigt, welche sich nach Hodson (2014) wie folgt darstellen:

Tabelle 2-12: Ziele des Experimentierens nach Hodson (2014)

Ziele des Experimentierens	Learning science	Erwerb und Entwicklung theoretischer und konzeptioneller Kenntnisse über naturwissenschaftliche Phänomene/Begebenheiten
	Doing science	Erwerb und Entwicklung von laborspezifischen Methoden zur Untersuchung von naturwissenschaftlichen Problemen
	Learning about science	Erwerb von Wissen über Nature of Science
	Addressing socio-scientific issues (SSIs)	Erwerb der Fähigkeit zum kritischen Auseinandersetzen mit den persönlichen, sozialen, wirtschaftlichen, ökologischen und moralisch-ethischen Aspekten von SSIs

Im Rahmen einer europäischen Delphi-Studie konnten fünf Hauptkategorien als Ziele für das Experimentieren in der Sekundarstufe II identifiziert werden (Welzel et al., 1998). Auf Basis der Aussagen von Lehrkräften soll das Experimentieren die Theorie und Praxis miteinander verbinden, die Lernenden neben den experimentellen Fähigkeiten auch Methoden wissenschaftlichen Denkens erwerben sowie begleitend ihre soziale Kompetenz weiterentwickeln und abschließend sollen die Lehrenden die Gelegenheit haben, den Wissensstand der Schülerinnen und Schüler zu erheben.

Ein Vergleich mit den Zielen nach Hodson (2014) weist eine breite Übereinstimmung mit der Befragung der Lehrkräfte von Welzel et al. (1998) auf, jedoch wird der Aspekt des Erwerbs von Wissen über Nature of Science seitens der Lehrkräfte nicht genannt. Ähnliche Kategorisierungen und Ziele von Experimenten lassen sich auch in Girwitz (2015), Engeln und Euler (2004), Hofstein und Lunetta, Vincent, N. (1982) und Hofstein (2004) erkennen.

2.4.3 Experimentelle Erkenntnisgewinnungsprozesse

Das Scientific Discovery as Dual Search-Model (SDDS-Modell) nach Klahr und Dunbar (1988) betrachtet das Experimentieren als einen Problemlöseprozess (Hammann, Phan & Bayrhuber, 2008). Dieser Problemlöseprozess wird in Anlehnung an das Zwei-Räume-Modell nach Simon und Lea (1974) als Lösungssuche in den Hypothesen- und Experimenträumen beschrieben. Die Suche in diesen zwei mentalen Problemräumen wird durch die drei Dimensionen, die als zirkulärer Prozess betrachtet werden können, untergliedert (Philipp, 2013): Suche im Hypothesenraum (Search Hypothesis Space), Testen von Hypothesen (Test Hypothesis) und Analyse von Evidenzen (Evaluate Evidence). Die drei Dimensionen enthalten typische Merkmale einer naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung (Pahl & Stadler-Altmann, 2019) und können folgendermaßen zusammenfassend beschrieben werden (Hammann, 2007; Klahr, 2000).

Bei der Suche im Hypothesenraum soll zu einem Phänomen, zu dem ein Wissensdefizit vorhanden ist, eine Hypothese formuliert werden. Die Hypothese soll im besten Fall das

Phänomen vollständig und plausibel erklären. Die Suche im Experimentierraum wird als Generierung eines durchführbaren Experiments, das Evidenzen in Anlehnung an die Hypothese liefert, beschrieben. Dabei ist zu beachten, dass dies auch ohne vorhandene Hypothese explorativ erfolgen kann. Abschließend werden bei der Analyse von Evidenzen die experimentell generierten Daten auf Übereinstimmung mit der Hypothese verglichen. Kann die Hypothese nicht bestätigt werden, so muss eine erneute Suche im Hypothesen- oder Experimentierraum erfolgen.

Das SDDS-Modell kann als Grundlage von nachfolgenden Strukturierungsmöglichkeiten eines Experimentierprozesses betrachtet werden (Tabelle 2-13):

Tabelle 2-13: Mögliche Phasierungen eines Experimentierprozesses

Klahr und Dunbar (1988)	Suche im Hypotheseraum	Testen von Hypothesen	Analyse von Evidenzen
Windschitl (2004)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Phänomen beobachten 2. Frage stellen 3. Hypothese entwickeln 	<ol style="list-style-type: none"> 4. Experiment designen 5. Experiment durchführen 	<ol style="list-style-type: none"> 6. Daten analysieren 7. Schlussfolgerung ziehen 8. Neue Fragen entwickeln sich
Hofstein et al. (2005)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Relevante Fragen stellen. Eine Frage für weitere Untersuchung auswählen. 2. Eine Hypothese formulieren, die auf gewählte Frage abgestimmt ist. 	<ol style="list-style-type: none"> 3. Experiment zur Untersuchung der Frage planen. 4. Plan zur Durchführung eines Experiments vorstellen. 5. Den Lehrer bitten, die Ausrüstung und Materialien zur Durchführung des Experiments zur Verfügung zu stellen. 6. Das vorgeschlagene Experiment durchführen. 7. Beobachten und Beobachtungen notieren. 	<ol style="list-style-type: none"> 8. Diskussion mit Gruppe, ob Hypothese angenommen wurde oder ob diese abgelehnt werden muss.
Wall et al. (2009)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Problem definieren 2. Bedarfsanalyse 	<ol style="list-style-type: none"> 4. Aktionsplan entwickeln 5. Plan umsetzen 	<ol style="list-style-type: none"> 6. Aktion evaluieren

	3. Ideen für Hypothese		7. Entscheidungen (Reflektieren, Erklären, Verstehen der Handlung)
T. Bell et al. (2010)	1. Orientierung/Frage 2. Hypothesengenerierung	3. Planung 4. Untersuchung	5. Analyse/Interpretation 6. Modellierung 7. Schlussfolgerung/Bewertung 8. Kommunikation 9. Prognose
Scanlon et al. (2011)	1. Themenfindung 2. Entscheidung für Frage oder Hypothese	3. Methoden, Equipment und Aktion planen 4. Daten sammeln	5. Evidenzen analysieren und darstellen 6. Über Schlussfolgerung entscheiden 7. Ergebnisse teilen und diskutieren 8. Prozess reflektieren
Wellnitz und Mayer (2013)	1. Fragestellung 2. Hypothese	3. Planung, Durchführung und Datengewinnung	4. Daten analysieren und Schlussfolgerung ziehen
Maiseyenko et al. (2013)	1. Fragestellung entwickeln 2. Vermutung aufstellen/Hypothese bilden	3. Experiment planen 4. Versuch funktionsfähig aufbauen 5. Beobachten/Messen/Dokumentieren	6. Daten aufbereiten 7. Schlüsse ziehen/diskutieren
J. Arnold et al. (2014)	1. Fragestellung 2. Hypothese	3. Planung 4. Durchführung	5. Datenauswertung

Hierbei kann festgestellt werden, dass die Phasen der verschiedenen Strukturierungsmöglichkeiten eines Experimentierprozesses, trotz der leicht abweichenden Bezeichnungen und Details in den Untergliederungen, in die drei basalen Dimensionen des SDDS-Modells eingeordnet werden können. Eine Übereinstimmung findet sich vor allem bei der Dimension der Suche im Hypothesenraum, bei dem in allen aufgezeigten Varianten die Phasen der Fragen- sowie Hypothesenbildung vorzufinden sind. In der Dimension des Testens von Hypothesen fallen einige feingliedrigere Unterteilungen, wie z. B. bei Maiseyenko et al. (2013), welche explizit das Aufbauen eines funktionsfähigen Versuchs

nennen, auf. Eine weitere Differenzierung ist in der Dimension der Analyse von Evidenzen erkennbar. Einige Ansätze weisen die Diskussion der Ergebnisse im Plenum sowie die kritische Reflexion des Experimentierprozesses als wesentliche Handlungsschritte des Experimentierens aus (T. Bell et al., 2010; Scanlon et al., 2011). Besonders auffällig ist die Variante nach Hofstein et al. (2005), bei dem sehr konkrete Handlungsschritte für die Schülerinnen und Schüler ausformuliert sind. Hierbei werden Handlungsschritte aufgezeigt, bei denen die Schülerinnen und Schüler beispielweise ihre Lehrkraft um das Bereitstellen ihrer Versuchsmaterialien bitten sollen. Mit gleicher Berechtigung lassen sich die drei Dimensionen nach Klahr und Dunbar (1988) auf ebenfalls übliche Strukturierungsansätze mit Hypothesenbildung Planung & Durchführung eines Experiments sowie Schlussfolgern beziehen (Walpuski & Sumfleth, 2007).

Ein weiterer Vergleich der aufgeführten Ansätze kann mit den Bildungsstandards des National Research Councils (NRC) gezogen werden. Laut den nationalen Bildungsstandards des NRC von 1996 sollen die Schülerinnen und Schüler bei einem offenen Experimentieransatz zu einer Fragestellung eine Untersuchung entwerfen, Beweise sammeln, eine Antwort auf die Frage formulieren und diese abschließend mit dem Untersuchungsprozess kommunizieren (National Research Council, 1996). Dies wird in den überarbeiteten Next Generation Science Standards des NRCs von 2012 noch weiter spezifiziert und im Framework for K-12 Science Education als Liste von Unterrichtspraktiken (Tabelle 2-11), die für den Erwerb eines naturwissenschaftlichen Verständnisses von Bedeutung sind, aufgezeigt (National Research Council, 2012, S. 49). Die Auflistung kann dabei als mögliche Schrittfolge einer wissenschaftlichen Untersuchung betrachtet werden und weist deutliche Parallelen zu den Dimensionen nach Klahr und Dunbar (1988) in der Tabelle 2-13 auf. Beispielsweise können die Planung und Durchführung von Untersuchungen der Dimension des Testens von Hypothesen zugeordnet werden, wohingegen das Analysieren und Interpretieren ein Bestandteil der Dimension der Analyse von Evidenzen ist. Des Weiteren werden zentrale Schritte eines Erkenntnisprozesses in der Erkenntnisgewinnungskompetenz der nationalen Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife aufgeführt (KMK, 2020, S. 14):

- Formulierung von Fragestellungen,
- Ableitung von Hypothesen,
- Planung und Durchführung von Untersuchungen,
- Auswertung, Interpretation und methodische Reflexion zur Widerlegung bzw. Stützung der Hypothese sowie zur Beantwortung der Fragestellung.

Eine weitere, lineare Darstellung von Experimentierschritten lässt sich auch in den nationalen Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss in den Standards des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung aufzeigen (KMK, 2005b). Zuerst wird in E1 das Erkennen sowie Entwickeln von Fragestellungen gefordert und nachfolgend in E2 das Überprüfen von Hypothesen mit geeigneten Experimenten beschrieben.

Nachfolgend sollen die Schülerinnen und Schüler in E3 das Experiment durchführen sowie protokollieren und anschließend in E5 eine Schlussfolgerung aus ihren erhobenen Daten ziehen.

Diese einzelnen Schritte eines möglichen Experimentierprozesses der nationalen Bildungsstandards von 2004 und 2020 können ebenso in die drei Dimensionen nach Klahr und Dunbar (1988) eingeordnet werden. Zu beachten ist, dass im Gegensatz zu der Darstellungsform in Tabelle 2-13 die möglichen Phasen eines Experimentierprozesses als zirkulärer Prozess zu betrachten sind (Bohrmann, 2017; Duit & Mikelskis-Seifert, 2010; Klahr, 2000). Einerseits kann die Bestätigung einer Hypothese neue Fragen aufwerfen, andererseits führt das Ablehnen einer Hypothese zur Überarbeitung dieser, sodass in beiden Fällen ein neuer Experimentierprozess gestartet werden kann (Heidrich, 2017). Insgesamt zeigt sich, dass eine vereinfachte, dreigliedrige Aufteilung des Experimentierprozesses nach Klahr und Dunbar (1988) mit einer deduktiven Vorgehensweise konsensfähig ist. Weitere umfassende Auflistungen von möglichen Phasierungen der Experimentierprozesse werden in Pedaste et al. (2015) oder in Emden (2011) aufgeführt.

2.4.4 Selbstgesteuertes Experimentieren

2.4.4.1 Definitionsansätze

Eine Basis für geöffnete Experimentieransätze bildet das selbstgesteuerte Lernen, das folgendermaßen definiert werden kann: „Lernformen, bei denen der Handelnde die wesentlichen Entscheidungen, ob, was, wann, wie und woraufhin er lernt, gravierend und folgenreich beeinflussen kann“ (Weinert, 1982, S. 102). Ein ähnlicher Definitionsansatz aus dem anglo-amerikanischen Raum lautet: „Self-regulation has been defined formally as self generated thoughts, feelings, and actions for attaining academic goals“ (Zimmerman & Schunk, 2004, S. 323). Zusammengefasst erwerben die Schülerinnen und Schüler im Rahmen des selbstgesteuerten Lernens eigenständig sowie intrinsisch motiviert Kompetenzen, setzen dabei ausgewählte Strategien ein und reflektieren ihren Lernprozess (Götz & Nett, 2017; Greif & Kurtz, 1998). Modelle zum selbstgesteuerten Lernen können in hierarchische Modelle (Boekaerts, 1999; Landmann, M., Schmitz, B., 2007; Leutner & Leopold, 2006), die primär die einzelnen Komponenten sowie Strukturen der Regulation darstellen und in Prozessmodelle (Landmann et al., 2009; Ziegler & Stöger, 2009; Zimmerman, 1989), die den Ablauf des selbstregulierten Lernens wiedergeben, unterteilt werden (Hasselhorn & Gold, 2017; Nett & Götz, 2019). Besonders die Prozessmodelle weisen Überschneidungen mit möglichen, naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozessen (2.4.3) auf. Wird das Modell nach Ziegler und Stöger (2009) betrachtet, so fällt auf, dass beispielsweise der Schritt der strategischen Planung dem Schritt der Planung eines Experiments inhaltlich ähnlich ist. Zu beachten ist, dass das selbstgesteuerte Lernen vergleichend zu offenen Experimentieransätzen ebenso mehr oder wenig stark selbstreguliert sein kann (Schiefele & Pekrun, 1996).

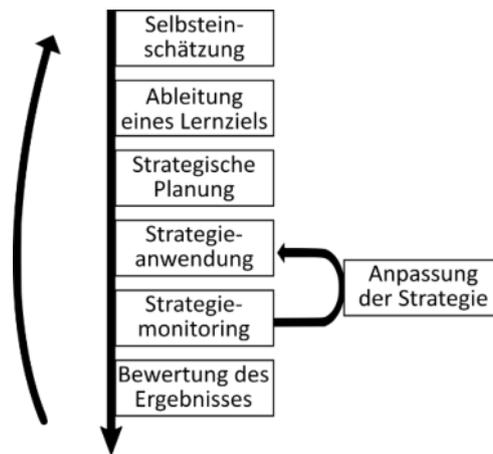


Abbildung 2-9: Prozessmodell zum selbstgesteuerten Lernen (Ziegler & Stöger, 2009)

In der chemiedidaktischen Domäne können die offenen Experimentieransätze jedoch nicht eindeutig definiert werden (T. Bell et al., 2010; Cuevas et al., 2005; Furtak et al., 2012; Hofstein & Lunetta, 2004; Kuhn & Pease, 2008; Rönnebeck et al., 2016; Wheeler, 2000). Dies lässt sich vor allem auf die unterschiedlichen Terminologien, wie z. B. „open inquiry“ (R. L. Bell et al., 2005), „authentic inquiry“ (Chinn & Malhotra, 2002), „discovery-based instruction“ (Alfieri et al., 2011), „inquiry-based learning“ (Hofer et al.), „collaborative inquiry learning“ (T. Bell et al., 2010), „open-ended inquiry“ (Hofstein et al., 2019) und „inquiry learning“ (Hmelo-Silver et al., 2007) zurückführen, die zwar als Gemeinsamkeit offene Unterrichts- und Experimentieransätze implizieren aber je nach Autor andere Öffnungsgrade (2.4.4.2) beim Experimentieren bedeuten (Baur & Emden, 2020). Eine mögliche Definition, die sich an der Arbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der Laborpraxis orientiert, stellen die National Science Education Standards auf:

„Scientific inquiry refers to the diverse ways in which scientists study the natural world and propose explanations based on the evidence derived from their work. Inquiry also refers to the activities of students in which they develop knowledge and understanding of scientific ideas, as well as an understanding of how scientists study the natural world“.
(National Research Council, 1996, S. 23).

Die Definition inkludiert ein umfassendes Konzept (Abd-El-Khalick et al., 2004), bei dem die Schülerinnen und Schüler offene Experimentierformen nicht durch das Lernen von bestimmten Experimentierphasen, sondern nur durch die praktische, eigenständige Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Fragestellungen ein Verständnis von den Naturwissenschaften erlangen können (National Research Council, 2000).

Dazu werden auch durch das National Research Council wesentliche Merkmale des offenen Experimentier- und Unterrichtsansatzes im naturwissenschaftlichen Unterricht aufgelistet (National Research Council, 2000). Diese sind für alle Jahrgangsstufen anwendbar und beinhalten beispielsweise den vermehrten Einsatz von wissenschaftsorientierten Fragestellungen (Tabelle 2-14).

Tabelle 2-14: Wesentliche Merkmale eines offenen Experimentier- und Unterrichtsansatzes (National Research Council, 2000, S. 25)

Merkmale
Einsatz von wissenschaftsorientierten Fragestellungen
Vorrangiger Einsatz von Evidenzen
Aufstellung von Erklärungen aus der Evidenz zur Beantwortung von Fragestellungen
Bewertung von Erklärungen anhand von alternativen wissenschaftlichen Erklärungen
Kommunikation und Begründung von Erklärungen

Ein weiteres Problem ist, dass der häufig zuvor verwendete Begriff „inquiry“ für offene Experimentier- und Unterrichtsansätze (Anderson, 2002) durch die „scientific practices“ (Tabelle 2-11) aus den Next Generation Science Standards (National Research Council, 2012), die inhaltliche Parallelen zu den zuvor genannten Begrifflichkeiten aufweisen (Crawford, 2014), zunehmend ersetzt wird. Dabei werden Aspekte aufgeführt (Tabelle 2-15), an denen sich der experimentelle, naturwissenschaftliche Unterricht orientieren soll (National Research Council, 2015, S. 11):

Tabelle 2-15: Ausgewählte Aspekte für den experimentellen, naturwissenschaftlichen Unterricht nach dem National Research Council (2015)

Die naturwissenschaftliche Ausbildung soll weniger von diesen Aspekten enthalten ...	Die naturwissenschaftliche Ausbildung soll mehr von diesen Aspekten enthalten ...
Durchführung von Kochbuch-Experimenten, deren Ergebnisse bereits vorgeplant sind.	Untersuchungen, die von den Fragen der Schülerinnen und Schüler angetrieben werden und mit einer Reihe von möglichen Ergebnissen, die zusammen zu einem tiefen Verständnis der wissenschaftlichen Kernideen führen.
Lehrkräfte bereiten die Informationen für ihre Klasse vor.	Die Schülerinnen und Schüler führen selbst Untersuchungen durch, lösen dabei Probleme und beteiligen sich an geführten Diskussionen.
Lehrkräfte stellen Fragen mit nur einer richtigen Antwort.	Die Schülerinnen und Schüler diskutieren offene Fragen, die sie zu evidenzbasierten Behauptungen führen.

Jedoch lässt sich eine Tendenz bei der Beschreibung offener Experimentierformen ableiten, bei der einerseits über die Aktivitäten der Schülerinnen und Schüler und andererseits über den Grad der Lehrkräftezentrierung definiert wird (Rönnebeck et al., 2016). Die Ausrichtung bezüglich des Grads der Lehrkräftezentrierung wird im Folgekapitel (2.4.4.2) beschrieben, da diese zumeist mit einigen Darstellungen der Öffnungsgrade von Experimenten (vgl. Mayer & Ziemek, 2006 sowie Jiang & McComas, 2015) gleichgesetzt

werden können. Aktivitäten der Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren, die zur Definition von offenen Experimentieransätzen herangezogen werden, sind im Rahmen einer Metaanalyse identifiziert und in Kategorien (Tabelle 2-16) zusammengefasst worden (Rönnebeck et al., 2016, S. 168):

Tabelle 2-16: Kategorien zu Aktivitäten der Lernenden bezüglich geöffneter Experimentieransätze nach Rönnebeck et al. (2016)

Kategorien
Identifizierung von Forschungsfragen
Suche nach Informationen
Formulierung von Hypothesen und Vorhersagen
Planung, Entwurf und Durchführung von Untersuchungen
Analyse, Interpretation und Auswertung von Daten
Erarbeitung von Erklärungen
Konstruktion von Modellen
Beteiligung an Diskussionen
Kommunikation

Ähnliche Zusammenfassungen zur Beschreibung von Aktivitäten der Lernenden, um offene Experimentieransätze zu definieren, lassen sich auch in Pedaste et al. (2015), Carmel et al. (2019) und Hofstein et al. (2019) finden. In dieser Arbeit wird als Begriff für offene Experimentierformen das selbstgesteuerte Experimentieren verwendet, um sowohl den englischsprachigen Begriff „inquiry“ zu vermeiden als auch auf dem selbstgesteuerten Lernen, das den deutschsprachigen Lehrkräften durch ihre universitäre Ausbildung oder Weiterbildungsmaßnahmen bekannt ist (Killus, 2009; Konrad, 2011; Messner et al., 2009), aufbauen zu können.

2.4.4.2 Öffnungsgrade

Die ersten Charakterisierungen von Öffnungsgraden beim Experimentieren erfolgten durch Schwab (1962) und Herron (1971), die dabei vier Öffnungsgrade postulierten (Tabelle 2-17). Hierbei wird die Experimentieranleitung in drei Aspekte Problem, Mittel und Weg, Antworten aufgeteilt und jeder Aspekt wird entsprechend mit vorgegeben (given) oder geöffnet (open) kodiert. Je stärker die Experimentieranleitung geöffnet ist, desto höher ist das Level im Öffnungsrad. Dabei spiegelt Level 0 ein stark vorgegebenes Experiment wider, wohingegen Level 3 einen hohen Öffnungsgrad des Experiments impliziert.

Tabelle 2-17: Öffnungsgrade beim Experimentieren nach Schwab (1962) und Herron (1971)

Öffnungsgrade (Level of openness)	Problem (Problem)	Mittel und Wege (Ways and means)	Antworten (Answers)

Level 0	vorgegeben	vorgegeben	vorgegeben
Level 1	vorgegeben	vorgegeben	geöffnet
Level 2	vorgegeben	geöffnet	geöffnet
Level 3	geöffnet	geöffnet	geöffnet

Domin (1999) hingegen differenziert bei Experimentieransätzen nach darlegend (expository), offen (inquiry), entdeckend (discovery) und problembasiert (problem based). Jeder Experimentieransatz wird dahingegen unterteilt, ob das Ergebnis vorbestimmt oder unbestimmt ist und ob der Ansatz durch eine induktive oder deduktive Vorgehensweise gekennzeichnet ist. Des Weiteren wird betrachtet, ob das allgemeine Vorgehen vorgegeben oder vom Lernenden selbst bestimmt ist. Basierend auf die zuvor aufgezeigten Charakterisierungen und der Analyse von vorhandenen Experimentieranleitungen entwickelten Buck et al. (2008) eine weitere Möglichkeit, den Öffnungsgrad eines Experiments zu bestimmen (Tabelle 2-18). Falls die Schülerinnen und Schüler einen Schritt des möglichen Experimentierprozesses ohne explizite Handlungsanweisung entwickeln und durchführen, wird mit nicht bereitgestellt (not provided), im gegenteiligen Fall wird mit bereitgestellt (provided) kodiert. Bei einer durchgeführten Inter-Rater-Reliabilitäts-Studie wurde bei der Kodierung von ausgewählten Experimentieranleitungen eine Übereinstimmung von 83 % erreicht. Je höher das Level ist, desto stärker ist in dieser Charakterisierung der Öffnungsgrad eines Experiments, wobei ein zusätzliches Level im Vergleich zu Schwab (1962) und Herron (1971) eingeführt wurde.

Tabelle 2-18: Öffnungsgrade beim Experimentieren nach Buck et al. (2008)

Charakterisierung	Level 0: Geschlossen	Level ½: Vorstrukturiert	Level 1: Geführt	Level 2: Offen	Level 3: Authentisch
Problem/Frage	bereitgestellt	bereitgestellt	bereitgestellt	bereitgestellt	nicht bereitgestellt
Theorie/Hintergrund	bereitgestellt	bereitgestellt	bereitgestellt	bereitgestellt	nicht bereitgestellt
Verfahren/Design	bereitgestellt	bereitgestellt	bereitgestellt	nicht bereitgestellt	nicht bereitgestellt
Ergebnisanalyse	bereitgestellt	bereitgestellt	nicht bereitgestellt	nicht bereitgestellt	nicht bereitgestellt

Als Kritik ist anzuführen, dass die Öffnungsgrade den bestimmten Experimentierphasen fest zugeordnet (vgl. Buck et al., 2008) sind und die Beschreibungen der einzelnen Offenheitslevels sehr allgemein gefasst sind (vgl. Domin, 1999). Um ein flexibles und differenziertes Modell zur Bestimmung der Offenheit eines Experiments zu schaffen,

schlägt Priemer (2011) vor, dass das selbstgesteuerte Experimentieren in die Dimensionen Fachinhalt, Strategie, Methode, Lösung, Lösungsweg und Phasen unterteilt wird (Abbildung 2-10). Jede Dimension kann mit zwei Ausnahmen entweder vorgegeben, vor-skizziert oder ohne Vorgaben sein. Die Dimensionen Lösung sowie Lösungsweg können hingegen nur dichotom ein oder mehrere kodiert werden.

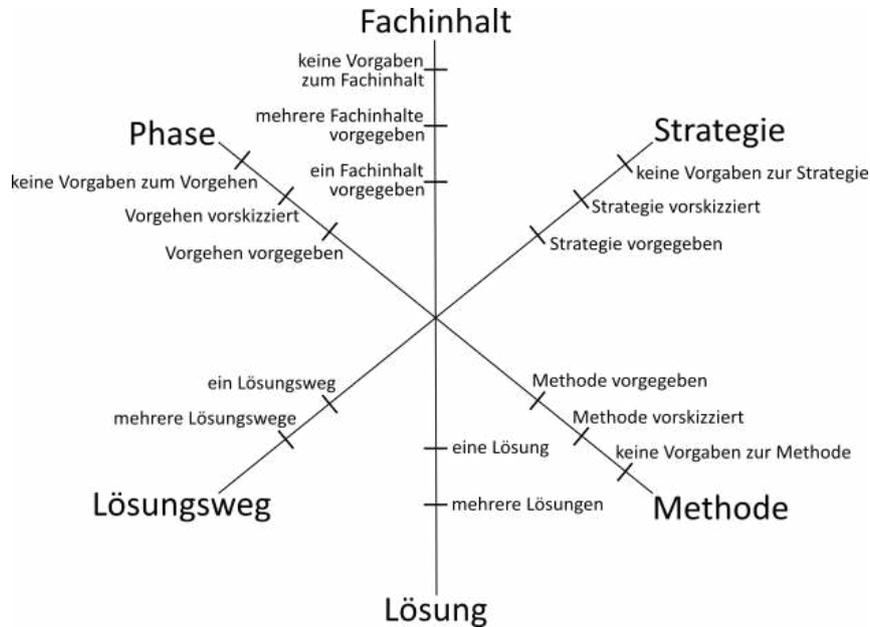


Abbildung 2-10: Dimensionen und ihre möglichen Öffnungsgrade (Priemer, 2011)

Eine Auswahl weiterer Charakterisierungen der Öffnungsgrade beim Experimentieren werden zusammengefasst in der Tabelle 2-19 aufgezeigt. Hierbei lassen sich vor allem Gemeinsamkeiten in den Öffnungsgraden sowie in den zu öffnenden Experimentierphasen beobachten.

Tabelle 2-19: Mögliche Öffnungsgrade beim Experimentieren

Autor	Öffnungsgrade	Verwendete Experimentierphasen
Mayer und Ziemek (2006)	<ul style="list-style-type: none"> • Grad 0 • Grad 1 • Grad 2 • Grad 3 • Grad 4 	<ul style="list-style-type: none"> • Fragestellung/Hypothese • Planung • Durchführung • Auswertung • Interpretation
Fay et al. (2007)	<ul style="list-style-type: none"> • Level 0 • Level 1 • Level 2 • Level 3 	<ul style="list-style-type: none"> • Problem/Frage • Verfahren/Methode • Lösung

R. L. Bell et al. (2005) und Banchi und Bell (2008)	<ul style="list-style-type: none"> • Level 1 – Geschlossen • Level 2 – Vorstrukturiert • Level 3 – Geführt • Level 4 - Offen 	<ul style="list-style-type: none"> • Frage • Methoden • Lösung
Jiang und McComas (2015)	<ul style="list-style-type: none"> • Level 0 • Level 1 • Level 2 • Level 3 • Level 4 	<ul style="list-style-type: none"> • Fragestellung • Planung • Durchführung • Schlussfolgerung
Baur und Emden (2020)	<ul style="list-style-type: none"> • Level 0 – Geschlossen • Level 1 – Moderat geöffnet • Level 2 – Geöffnet • Level 3 - Offen 	<ul style="list-style-type: none"> • Frage • Hypothese • Planung • Analyse • Schlussfolgerung

2.4.4.3 Implementierung

Die Implementation des selbstgesteuerten Experimentierens gelingt national wie international nur teilweise, da vorrangig lehrerzentrierte Demonstrationsversuche sowie instruktionsorientierte Schülerexperimente im naturwissenschaftlichen Unterricht eingesetzt werden (Börlin, 2014; Capps & Crawford, 2013; Deters, 2004, 2005; Engeln et al., 2013; Nehring et al., 2016; Seidel et al., 2006; Tesch & Duit, 2004). Aufgrund der aufgeführten Konzeptionalisierungen des selbstgesteuerten Experimentierens (2.4.4.1) sowie den verschiedenen Bezeichnungen der Öffnungsgrade beim Experimentieren (2.4.4.2) kann nur bedingt ein einheitliches Bild der Implementierung des selbstgesteuerten Experimentierens in die Unterrichtspraxis dargelegt werden. In der amerikanischen Studie von Fitzgerald et al. (2019) werden anhand von Lehrkräftebefragungen Faktoren identifiziert, die für die Implementierung des selbstgesteuerten Experimentierens in die Schulpraxis nachteilig wirken. Dabei zeigt sich, dass zu große Klassenstärken und der vermeintlich höhere Zeitaufwand, welcher u. a. auch in der Studie von Newman et al. (2004) aufgeführt wird, limitierende Faktoren sind. Darüber hinaus wird angeführt, dass nach eigener Einschätzung der Lehrkräfte das fehlende Wissen über das selbstgesteuerte Experimentieren den Einsatz dieser Experimentierform verhindert. Eine weitere Befragung von 571 Chemielehrkräften aus amerikanischen High-Schools untermauert diese Befunde und zeigt, dass 45,5 % der befragten Lehrkräfte keine selbstgesteuerten Experimentieransätze verwenden und die teilnehmenden Lehrkräfte den möglichen Kontrollverlust, den Aufbau von Fehlkonzepten seitens der Schülerinnen und Schüler sowie Sicherheitsbedenken als weitere Hinderungsgründe anführen (Deters, 2004, 2005). Bei der Betrachtung der verschiedenen Öffnungsgrade eines Experimentierprozesses weist eine amerikanische Studie das Level 1 mit einem geringen Öffnungsgrad als häufigsten Inquiry-Ansatz im Unterricht aus (Staer et al., 1998). Besonders im Fach Chemie ist im Vergleich zu anderen

naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern der Einsatz von geöffneten Unterrichtsansätzen geringer ausgeprägt (Hofstein et al., 1996; Staer et al., 1998).

Im Rahmen der europäischen PRIMAS-Basisstudie mit zwölf teilnehmenden Ländern liegt Deutschland im Hinblick auf den Einsatz von geöffneten Experimentierformen im Mittelfeld (Engeln et al., 2013). In der Gesamtheit werden als Hauptfaktoren für den geringen Einsatz von geöffneten Experimentierformen Systemeinschränkungen, erschwertes Klassenraummanagement und fehlende Ressourcen aufgeführt. Jedoch sind länderspezifische Unterschiede zu beachten, sodass beispielsweise Lehrkräfte aus Deutschland, Dänemark und Norwegen im Vergleich tendenziell weniger Probleme bei der Implementierung dieser Experimentierform sehen. Untermauert werden die Befunde der PRIMAS-Basisstudie durch die Ergebnisse der PISA-Studie 2015, bei denen die deutschen Schülerinnen und Schüler bezüglich der Skala „naturwissenschaftliche Forschung bewerten und Untersuchungen planen“ im internationalen Vergleich nur den 13. Platz belegen (Schiepe-Tiska, Schmidtner et al., 2016). Zudem wird in der PISA-Studie 2015 ein Unterrichtsansatz mit hoher Eigenaktivität seitens der Schülerinnen und Schüler als forschend-entdeckender Unterricht mit den Dimensionen der sozialen, prozeduralen und epistemischen Aktivitäten sowie dem Anwendungsbezug beschrieben (Schiepe-Tiska, Rönnebeck et al., 2016). Bei den absoluten Werten liegt Deutschland im Vergleich über dem OECD-Durchschnitt. Jedoch fällt bei einer differenzierteren Betrachtung der einzelnen Teildomänen auf, dass beispielsweise bei der Befragung der deutschen Schülerinnen und Schüler nach den prozeduralen Lernaktivitäten nur 12,8 % angeben, in naturwissenschaftlichen Unterrichtsstunden selbstständig Experimente entwickeln zu dürfen. Mit diesem Ergebnis liegt Deutschland in dieser Kategorie unter dem OECD-Durchschnitt von 15,7 %. Dieses Ergebnis spiegelt sich auch in den naturwissenschaftlichen Unterrichtsmustern in Deutschland nach Schiepe-Tiska, Schmidtner et al. (2016) wider, die im Rahmen der Analyse der PISA-Studie 2015 durch eine Latent-Class-Analyse erstellt worden sind (Tabelle 2-20).

Tabelle 2-20: Muster des Naturwissenschaftsunterrichts in Deutschland mit den prozentualen Häufigkeiten

Typ	Beschreibung des Unterrichtsmusters	Häufigkeit
Typ 1	Kognitiv anregend und Experimente selbst entwickeln	18,7 %
Typ 2	Kognitiv anregend und Laborexperimente durchführen	12,0 %
Typ 3	Durchschnittlich kognitiv anregend und selten Experimente	54,0 %
Typ 4	Wenig kognitiv anregend und keine Experimente	14,2 %

Grundsätzlich geben die Schülerinnen und Schüler mit einer über alle Schularten gemittelten Häufigkeit von 54 % den Typ 3 an. Dieser zeichnet sich zwar durch das Einbringen von Ideen sowie das Ziehen von Schlussfolgerungen aus, jedoch fehlt bei diesem Unterrichtsmuster die eigenständige Planungs- und Durchführungskomponente. Zusammenfassend fällt auf, dass 80,2 % der deutschen Schülerinnen und Schüler einen naturwissen-

schaftlichen Unterricht erhalten, der wenig Möglichkeiten zur selbstständigen Entwicklung von Experimenten bietet. Zu beachten ist allerdings, dass die angegebenen Häufigkeiten bezüglich der Unterrichtsmuster durch Befragungen der Schülerinnen und Schüler entstanden sind, wodurch Ungenauigkeiten entstehen können. Jedoch decken sich diese Ergebnisse auch mit den Videostudien von Seidel et al. (2006), die das Experimentieren im Physikunterricht zumeist lehrerzentriert darstellen. Wird ein Vergleich zur der PISA-Studie 2006 gezogen, bei der die Naturwissenschaften ebenfalls die Hauptdomäne waren, sind ähnliche Ergebnisse bezüglich der Unterrichtsmuster zu erkennen (Kobarg et al., 2011). Teilweise lassen sich die Befunde auch in der neuesten PISA-Studie 2018 erkennen, da 22 % der deutschen Schülerinnen und Schüler nicht die Kompetenzstufe II erreichen und somit nur einfache, vorstrukturierte Untersuchungen durchführen können (Schiepe-Tiska et al., 2019). Dennoch werden hierbei keine Analysen von Unterrichtsmustern durchgeführt, sodass direkte, valide Rückschlüsse von den erreichten Kompetenzstufen nicht zwangsläufig auf das vorliegende Unterrichtsmuster gezogen werden können.

2.4.4.4 Empirische Befunde zum selbstgesteuerten Experimentieren

Trotz der häufig angeführten Kritik, dass stark geöffnete Experimentierformen zu Überforderungen bei den Schülerinnen und Schüler führen können (Kirschner et al., 2006; Klahr & Nigam, 2004), deuten aktuelle Metanalysen darauf hin, dass eine angemessene Öffnung von Schülerexperimenten eine positive Wirkung auf den Fachwissenszuwachs, das prozedurale Wissen sowie die Einstellung zur Wissenschaft der Lernenden haben können (Furtak et al., 2012; Jiang & McComas, 2015; Minner et al., 2010; Schroeder et al., 2007).

In der Metaanalyse von Schroeder et al. (2007) werden unter Einbezug von 61 empirischen amerikanischen Studien aus dem Zeitraum von 1980 bis 2004 die Effekte von Lehrstrategien im naturwissenschaftlichen Unterricht auf die Leistung der Schülerinnen und Schüler verglichen. Zwölf Studien beinhalten dabei Ansätze zum selbstgesteuerten Experimentieren (inquiry strategies), wobei die Effektgröße dieses Lehransatzes in dieser Metaanalyse $d = .65$ beträgt. Dabei ist anzumerken, dass nicht nach spezifischen Öffnungsgraden differenziert wird, sondern schülerzentrierte Ansätze mit geringen Vorgaben der Lehrkräfte verallgemeinert werden. In der Metaanalyse von Minner et al. (2010) deuten 51 % der 138 Studien aus dem Zeitraum von 1984 bis 2004 auf eine positive Wirkung des Inquiry-Ansatzes auf das Lernergebnis der Schülerinnen und Schüler hin. Besonders positive Wirkungen lassen sich erzielen, wenn der Unterrichtsansatz das aktive Denken der Schülerinnen und Schüler fördert sowie Schlüsse aus Daten seitens der Schülerinnen und Schüler gezogen werden. Jedoch verweisen die Autoren darauf, dass keinem bestimmten Offenheitsgrad ein besonders hoher Effekt zugewiesen werden kann. Eine weitere Metaanalyse von Furtak et al. (2012) mit 37 Studien aus dem Zeitrahmen von 1996 bis 2006 zeigt allgemein einen positiven Effekt des Inquiry-Ansatzes auf das Lernen der Schülerinnen und Schüler im naturwissenschaftlichen Unterricht, dennoch wird auch auf eine positive Wirkung von lehrergeleiteten Phasen verwiesen. Jiang und McComas

(2015) kritisieren hingegen, dass viele empirische Studien zumeist nicht im Regelunterricht ihre Anwendung finden und verwenden stattdessen für ihre Metaanalyse die Daten der PISA-Studie 2006, um den Effekt des Öffnungsgrads eines Experiments auf die Leistungen sowie die Einstellungen zur Wissenschaft zu untersuchen. Hierbei zeigt sich primär für die amerikanischen Daten, dass ein Level 2 Inquiry-Ansatz den größten Effekt auf die Leistung der Schülerinnen und Schüler hat, wohingegen ein höherer Öffnungsgrad eine größere Wirkung auf die Einstellung der Schülerinnen und Schüler gegenüber der Wissenschaft hat.

In den folgenden Tabellen (Tabelle 2-21 und Tabelle 2-22) werden aktuelle empirische Studien zum selbstgesteuerten Experimentieren aufgezeigt. Um ein strukturiertes und differenziertes Bild der empirischen Studien zu erhalten, werden die Befunde den Öffnungsgraden angeleitetes („guided inquiry“) und selbstgesteuertes („open inquiry“) Experimentieren zugewiesen. Es werden zuerst Studien aufgezeigt, bei denen die signifikanten Befunde zu Auswirkungen des selbstgesteuerten Experimentierens auf bestimmte Konstrukte, wie z. B. konzeptuelles Verständnis, eindeutig nach APA-Standard dargestellt sind. Dabei werden die Angaben der Inferenzstatistik direkt ohne Anpassungen von den entsprechenden Autoren übernommen. Abschließend sind in den Tabellen empirische Studien aufgeführt, die Effekte für bestimmte Konstrukte nicht klar nach APA-Standard kommunizieren, dessen ungeachtet sie häufig in der Literatur zitiert werden:

Tabelle 2-21: Empirische Befunde zum angeleiteten Experimentieren

Angeleitetes Experimentieren

<i>Autor</i>	<i>Beschreibung und Effekte</i>	<i>Schulart</i>	<i>Fachdisziplin</i>
Almuntasheri et al. (2016)	Angeleitetes vs. kochartiges Experimentieren	Middle School	Naturwissenschaften
	Signifikant bessere Effekte für angeleitetes Experimentieren: – Konzeptuelles Verständnis, $F(1,104) = 9.896, p = .002$ – Erklärniveau, $F(1,104) = 21.422, p < .001$		
	Angeleitetes vs. kochartiges Experimentieren		

Koksal und Berberoglu (2014)	Signifikant bessere Effekte für angeleitetes Experimentieren: <ul style="list-style-type: none"> – Lernergebnisse, $F(1,302) = 9.69$, $p < .05$, $\eta^2 = .03$ – Wissenschaftliche Prozesskenntnisse, $F(1,302) = 33.15$, $p < .05$, $\eta^2 = .09$ – Einstellung zur Wissenschaft, $F(1,302) = 23.21$, $p < .05$, $\eta^2 = .07$ 	Elementary School	Naturwissenschaften
Blanchard et al. (2010)	Angeleitetes vs. kochartiges Experimentieren	Middle und High School	Naturwissenschaften
	Bessere Ergebnisse für angeleitetes Experimentieren für beide Schularten: <ul style="list-style-type: none"> – Prozedurales Wissen – Nature of Science 		
Bunterm et al. (2014)	Angeleitetes vs. kochartiges Experimentieren	Secondary School	Naturwissenschaften
	Bessere Ergebnisse für angeleitetes Experimentieren: <ul style="list-style-type: none"> – Fachwissen – Wissenschaftliche Prozesskenntnisse – Einstellung zur Wissenschaft 		
Arantika et al. (2019)	Angeleitetes vs. kochartiges Experimentieren	High School	Chemie
	Bessere Ergebnisse für angeleitetes Experimentieren: <ul style="list-style-type: none"> – Wissenschaftliche Prozesskenntnisse 		

Tabelle 2-22: Empirische Befunde zum selbstgesteuerten Experimentieren

Selbstgesteuertes Experimentieren

<i>Autor</i>	<i>Beschreibung und Effekte</i>	<i>Schulart</i>	<i>Fachdisziplin</i>
Sadeh und Zion (2009)	Selbstgesteuertes vs. angeleitetes Experimentieren	High School	Biologie
	Signifikant bessere Effekte für selbstgesteuertes Experimentieren: <ul style="list-style-type: none"> – Veränderung während des Experimentierprozesses, $F(1,48) = 22.56$, $p < .001$, $\eta^2 = .32$ 		

	<ul style="list-style-type: none"> – Lernen als Prozess, $F(1,48) = 2.4$, $p > .05$, $\eta^2 = .05$ – Prozedurales Verständnis, $F(1,48) = 13.65$, $p < .001$, $\eta^2 = .22$ – Affektive Einstellung zum Experimentieren, $F(1,48) = 0.1$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$ 		
Sadeh und Zion (2012)	<p>Selbstgesteuertes vs. angeleitetes Experimentieren</p> <p>Signifikant bessere Effekte für selbstgesteuertes Experimentieren:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Einstellung der Schülerinnen und Schüler bezüglich des Nutzens des Projekts, $F(1,293) = 36.48$, $p < .001$, $\eta^2 = .11$ – Einstellung der Schülerinnen und Schüler bezüglich der Zeitinvestition, $F(1,293) = 0.66$, $p > .05$, $\eta^2 = .00$ – Einstellung der Schülerinnen und Schüler bezüglich der Dokumentation, $F(1,293) = 19.08$, $p < .001$, $\eta^2 = .06$ 	High School	Biologie
Berg et al. (2003)	<p>Selbstgesteuertes vs. angeleitetes Experimentieren</p> <p>Bessere Ergebnisse für selbstgesteuertes Experimentieren:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Lernerfolg – Wahrnehmung des Experiments 	Universität	Chemie

2.4.4.5 Unterstützende Maßnahmen

Um einen Ausstieg bei dem Bearbeitungs- und Lernprozess zu vermeiden (v. Aufschnaiter & v. Aufschnaiter, 2001), der aufgrund der erhöhten metakognitiven Anforderungen beim selbstgesteuerten Experimentieren (Wirth et al., 2008) eintreten kann, kann den Lernenden bei der Durchführung eines Erkenntnisgewinnungsprozesses eine Hilfe in Form von Tippkarten zur inneren Differenzierung angeboten werden (Hänze et al., 2007). Hierbei sind die Tippkarten im Rahmen des Strukturierungskonzepts in Anlehnung an die gestuften Lernhilfen konzipiert (Forschergruppe Kassel, 2007; Hänze et al., 2010). Dabei kann nach Lernhilfearten (Tabelle 2-23), die entweder bei einem Problemlöseprozess nacheinander folgen oder an spezifische Aufgaben angepasst werden können, differenziert werden (Franke-Braun et al., 2008; Wodzinski, 2003):

Tabelle 2-23: Lernhilfearten nach Franke-Braun et al. (2008)

Arten von Lernhilfen	Beschreibung
Paraphrasierung	Aufgabenstellung in eigenen Worten verfassen

Fokussierung	Informationen aus Aufgabentext selektieren
Elaboration von Unterzielen	Problemstellung in Unterpunkte aufgliedern
Aktivierung von Vorwissen	Aufzeigen z. B. von Basiskonzepten, Formeln
Visualisierung	Anfertigen von Skizzen zum Versuchsdesign
Verifizierung	Erhalt der Musterlösung zur Überprüfung der eigenen Lösung

Gestufte Lernhilfen erweisen sich als vorteilhaft zur Differenzierung in heterogenen Lerngruppen, indem die Lernenden beispielsweise eine selbstständige Entscheidung über Zeitpunkt und Ausmaß der Nutzung der Tippkarten treffen können (Forschergruppe Kassel, 2007), was dem Prinzip der adaptiven Instruktion (Weinert, 1996) gerecht wird. Im anglo-amerikanischen Sprachraum sind die lernunterstützenden Maßnahmen als scaffolding bekannt (vgl. Flick, 2000). Die positive Wirkung dieser Maßnahmen zur Reduktion der kognitiven Belastung sowie zur Förderung des wissenschaftlichen Denkens konnte durch verschiedene empirische Studien aufgezeigt werden (J. Arnold et al., 2017; Großmann & Wilde, 2019; Schmidt-Weigand et al., 2008).

Strukturierungshilfen eignen sich ebenfalls als Unterstützungsmaßnahmen und sollen den Wissenserwerb der Lernenden unterstützen (Hauerstein, 2019), wobei die Maßnahmen dabei exakt auf den Lern und Leistungsstand der Schülerinnen und Schüler abgestimmt sein sollten (Heinrichs, 2015). Als Strukturierungshilfen können beispielsweise Lernleiter, Concept- oder Mind-Maps eingesetzt werden (Hauerstein, 2019). Des Weiteren kann auf eine klare sowie operationalisierte Formulierung der Arbeitsaufträge geachtet oder das Setting gegliedert sowie zentrale Elemente hervorgehoben werden (Leisen, 2006; Lipowsky, 2007).

Jegliche Formen von Rückmeldungen, die den Lernenden eine Information über die Korrektheit ihrer Lösungen liefern oder ihnen strategische Hilfen sowie Hinweise für die Lösung geben, können als Feedback betrachtet werden (Kulhavy & Stock, 1989; Lipowsky, 2009; Mory, 2003). Feedback im schulischen Rahmen wird in Metaanalysen als wirkungsvoller Faktor für das erfolgreiche Lernen betrachtet (Hattie, 2015).

In der Literatur finden sich vielfältige Feedbackstrategien, deren Wirkungen u. a. von individuellen Faktoren, wie z. B. Vorwissen oder Motivation der Lernenden, abhängig sind (Fyfe & Rittle-Johnson, 2016; Hattie & Timperley, 2007; Kluger & DeNisi, 1996; Narciss, 2020; Shute, 2008). Feedback kann nach dem Grad seiner Elaboration unterschieden werden (Tabelle 2-24), wobei das sog. elaborierte Feedback den höchsten Elaborationsgrad aufweist (Bangert-Drowns, L., Kulik, C., Kulik, A., Morgan, M. T., 1991; Lange, 2012; Narciss, 2006; Vasilyeva et al., 2007).

Tabelle 2-24: Ausgewählte Formen des Feedbacks nach Narciss (2006)

Feedbackform	Beschreibung
Kenntnis über die Leistung	Es erfolgt eine summative Rückmeldung über den erreichten Leistungsstand.

Kenntnis des Ergebnisses	Es erfolgt eine Angabe, ob die aktuelle Antwort richtig oder falsch ist.
Kenntnis des richtigen Ergebnisses	Es erfolgt eine Angabe ob die aktuelle Antwort richtig oder falsch ist. Zudem erfolgt bei falscher Antwort eine Vorgabe der Lösung.
Erfragen der Antwort	Es erfolgt eine wiederholte Anwendung des „Kenntnis des Ergebnisses“, bis eine korrekte Antwort von selbst gefunden wurde.
Elaboriertes Feedback	Eine Antwort wird erläutert, warum diese falsch oder richtig ist.

In einer Metaanalyse von van der Kleij et al. (2015) zeigt das elaboriertes Feedback in computerbasierten Lernumgebungen positivere Effektstärken ($d = .49$) im Vergleich zu den Feedbackformen „Kenntnis des richtigen Ergebnisses“ ($d = .32$) und „Kenntnis des Ergebnisses“ ($d = .05$). Besonders in Hinblick auf einen selbstgesteuerten Lernprozess wird das Feedback zur Unterstützung der Lernenden als hilfreich angesehen (Butler & Winne, 1995; Kluger & DeNisi, 1996; Landmann et al., 2015). In einer Interventionsstudie von Marschner (2011) konnte gezeigt werden, dass in einer selbstregulierten Lernumgebung durch einen Einsatz von adaptivem Feedback in Form von Prompts die Lernenden im Vergleich zur Kontrollgruppe eine höhere Motivation sowie eine verbesserte Strategienutzung aufweisen. Im Rahmen einer weiteren Interventionsstudie von Ropohl und Scheuermann (2018) konnte dargestellt werden, dass Rückmeldeformen, die Informationen zum Lernziel, zum Lernstand und zu nächsten Lernschritten intendieren, den im Vergleich höchsten Lernertrag bei der Variablenkontrollstrategie in Bezug auf die Planung von Experimenten aufweisen. In einem Vergleich mittels einer Interventionsstudie bezüglich der Unterstützungsmaßnahmen Fehlerkorrektur durch Feedback und strukturierende Lernhilfen wird nur für die Fehlerkorrektur ein signifikanter Effekt nachgewiesen (Walpuski & Sumfleth, 2007). Im Gegensatz dazu lassen sich in einer Interventionsstudie zum Vergleich von adaptiven Feedbackformen (feeding back und feeding forward) von Hild et al. (2020) keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Entwicklung der experimentellen Kompetenz aufzeigen, wobei die Ergebnisse von den Autoren aufgrund der geringen Stichprobengröße hinterfragt werden.

2.4.4.6 Beachtung der experimentellen Kompetenz der Lernenden

Für die Planung von selbstgesteuerten Experimenten sollten im Vorfeld neben dem Vorwissen (Dochy & Alexander, 1995), das als Determinante für die „Bewältigung komplexer, authentischer Probleme“ (Gruber & Stamouli, 2009, S. 35) gilt, auch mögliche Schülervorstellungen, deren Missachtung zu Lernschwierigkeiten führen können (Schecker & Duit, 2018), im Sinne der didaktischen Rekonstruktion nach Kattmann et al. (1997) beachtet werden (2.2).

Wenn die experimentellen Kompetenzen der Lernenden als Fähigkeiten und Fertigkeiten, die Schülerinnen und Schüler zur Planung, Durchführung und Auswertung von Experi-

menten benötigen, betrachtet werden (Schecker et al., 2016), sollten diese bei der Erstellung von selbstgesteuerten Experimenten primär Beachtung finden, da sie somit einen Prädiktor für die sichere und erfolgreiche Bearbeitung eines offenen Experimentieransatzes darstellen (Nawrath et al., 2011). Jedoch ist eine allgemein gültige Definition der experimentellen Kompetenzen diffizil, zumal nach einer äußeren und inneren Abgrenzung der Modellansätze differenziert wird (Gut-Glanzmann, 2012). Im Zuge der äußeren Abgrenzung sollte definiert werden, welche Teilbereiche, wie z. B. die Fertigkeiten beim Umgang mit Materialien oder kognitive Aspekte im Rahmen der Vor- und Nachbereitung, zur experimentellen Kompetenz zählen (Gut et al., 2014). Bei der inneren Abgrenzung wird diskutiert, wie viele Teilprozesse eines Experimentierprozess die experimentelle Kompetenz abbilden (Dickmann, 2016), wobei jedoch nicht abschließend geklärt ist, ob eine dreigliedrige Aufteilung nach Klahr und Dunbar (1988) (2.4.3) vorliegt oder diese Dreigliederung als eine Kompetenzdimension (Grube, 2010) betrachtet werden kann (Gut-Glanzmann & Mayer, 2018; Vorholzer et al., 2016). Einen möglichen Ansatz bieten Nawrath et al. (2011), die ein Modell zur experimentellen Kompetenz mit sieben Teilkompetenzen erstellt haben (Abbildung 2-11), das sowohl zur Planung von Experimenten im Unterricht als auch zur Diagnose der experimentellen Fähigkeiten der Lernenden eingesetzt werden kann, wobei bei der Reflexion eines Unterrichtsgangs eine Gewichtung der Teilkompetenzen erfolgen kann (Maiseyenko et al., 2013). Weitere Modelle finden sich u. a. in Schreiber et al. (2009) und Mayer (2007a).

bei der Planung	0: unwichtig	1: bedeutsam	2: besonders wichtig
bei der Diagnose	0: niedriges Niveau	1: mittleres Niveau	2: hohes Niveau

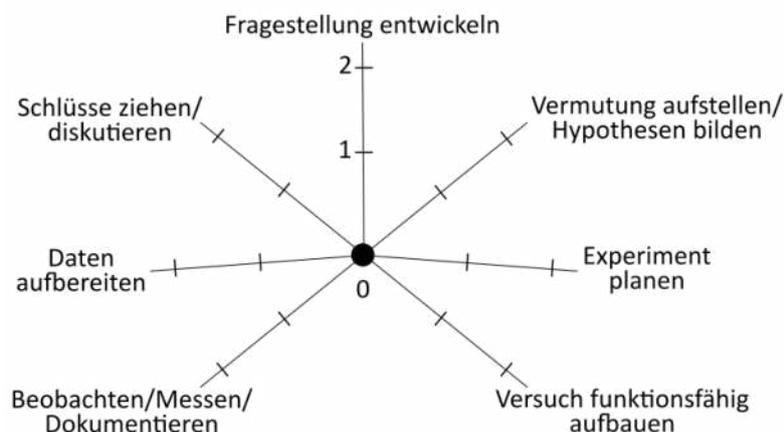


Abbildung 2-11: Facettenmodell experimenteller Kompetenz (Nawrath et al., 2011)

Es kann gezeigt werden, dass die Lernenden in jeder Phase eines möglichen Experimentierprozesses diverse Defizite bezüglich der experimentellen Kompetenz aufweisen (Baur, 2018; Hammann et al., 2006; Jong & van Joolingen, 1998; Kotzebue et al., 2015; Nerdel, 2017). Tendenziell stellen Schülerinnen und Schüler zumeist inhaltliche Fragen und keine Fragen, die zu einer Hypothese führen (Dillon, 1988; Hofstein et al., 2005). Des Weiteren lassen sich diverse Probleme bei der Generierung von Hypothesen seitens der Lernenden aufweisen, wobei sie teilweise weder Hypothesen aufstellen, noch bereits

aufgestellte Hypothesen trotz widersprüchlicher Daten verwerfen (Chinn & Brewer, 1993; Hammann et al., 2006; Millar & Lubben, 1996). Im Rahmen der Planung eines Experiments kann beobachtet werden, dass die Schülerinnen und Schüler ohne Kontrollansätze arbeiten sowie gleichzeitig mehrere Variablen parallel in einem Ansatz variieren (Hammann et al., 2006; Hammann, Phan, Ehmer & Grimm, 2008; Schwichow et al., 2015; Siler & Klahr, 2012). Der Umgang mit Messfehlern, das Ziehen von falschen Schlussfolgerungen sowie die Erstellung von Grafiken aus gewonnenen Daten sind weitere Fehlerquellen beim Experimentieren, die bei Schülerinnen und Schüler beobachtet werden können (Hammann et al., 2006; Kanari & Millar, 2004; Kotzebue et al., 2015). Detaillierte Zusammenfassungen von typischen Schwierigkeiten beim Experimentieren seitens der Lernenden finden sich in Nerdel (2017), Hammann et al. (2006) und Baur (2018).

3 Ziele und Fragestellungen

Die Lehrkräftefortbildungen stellen die dritte Phase ihrer Ausbildung dar (Fussangel et al., 2016). Sie sollen die Lehrenden für die stetigen Neuanforderungen des Lehrberufs, wie beispielweise die Neugestaltung der Lehrpläne oder die voranschreitende Implementierung von digitalen Medien in den Unterricht, vorbereiten (Eickelmann, Drossel & Port, 2019; Lipowsky & Rzejak, 2019). Ebenfalls fordern die Standards für die Lehrerbildung der KMK, die berufliche Weiterentwicklung der Lehrkräfte, „um die neuen Entwicklungen und wissenschaftlichen Erkenntnisse in ihrer beruflichen Tätigkeit zu berücksichtigen“ (KMK, 2019b, S. 3). In diesem Zusammenhang stellt die Neuentwicklung der bayerischen Lehrpläne die Lehrkräfte vor neue Herausforderungen und insbesondere im Fach Chemie sollen die häufig eingesetzten instruktionsorientierten Experimente durch selbstgesteuerte Experimente ersetzt werden (Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst, 2016; Schiepe-Tiska, Schmidtner et al., 2016; ISB, 2020).

Das experimentell-fachdidaktische Wissen kann zwar mittels einer Lehrkräftefortbildung gefördert werden (Schmitt, 2016), jedoch wird für die Implementierung des selbstgesteuerten Experimentierens in die Unterrichtspraxis spezifische Planungskompetenzen seitens der Lehrenden benötigt. Für bayerische Lehrkräfte sind bislang keine Fortbildungsmaßnahmen entwickelt worden, sodass das primäre Ziel dieses Forschungsvorhabens, die Konzeption einer wirksamen Fortbildung zur Planung von selbstgesteuerten Experimenten im Chemieunterricht für Realschul- sowie Gymnasiallehrkräfte ist.

Die Wirksamkeitsprüfung der Interventionsmaßnahme erfolgt auf den ersten beiden Evaluationsebenen nach Lipowsky (2010). Auf der ersten Evaluationsebene erfolgt eine Einschätzung der Maßnahme durch die teilnehmenden Lehrkräfte. Auf der zweiten Ebene wird der kognitive Erfolg und damit das Professionswissen der Teilnehmenden evaluiert. In der vorliegenden Arbeit sollte das fachdidaktische Wissen hinsichtlich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten nachhaltig verbessert werden. Um diesen fachdidaktischen Wissenszuwachs zu erfassen, wurde ein neues spezifisches Messinstrument entwickelt und anhand der Gütekriterien evaluiert.

Somit können folgende Fragestellungen mit ihren Hypothesen aus den drei Zielen dieses Forschungsvorhabens abgeleitet werden:

Fragestellung 1

Kann der Test zur experimentellen Planungskompetenz das fachdidaktische Wissen der Teilnehmenden hinsichtlich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten angemessen erfassen?

Hypothese 1

Der Test zur experimentellen Planungskompetenz erfasst das fachdidaktische Wissen der Teilnehmenden hinsichtlich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten angemessen.

Diese Hypothese kann in zwei Teilhypothesen untergliedert werden, welche im Folgenden dargelegt sind.

Hypothese 1.1

Der Test zur experimentellen Planungskompetenz erfasst das fachdidaktische Wissen der Teilnehmenden hinsichtlich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten reliabel.

Zur Überprüfung dieser Hypothese wurden die Daten des fachdidaktischen Tests der Pilotierungen und der Hauptstudie einer Reliabilitätsanalyse unterzogen.

Hypothese 1.2

Der Test zur experimentellen Planungskompetenz erfasst das fachdidaktische Wissen der Teilnehmenden hinsichtlich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten valide.

Zur Testung der Hypothese erfolgte eine Validierung des Tests zur experimentellen Planungskompetenz anhand des fachdidaktischen Test von Backes et al. (2012) im Rahmen eines Studierendenseminars, welches ebenfalls die Planungskompetenz der Teilnehmenden hinsichtlich selbstgesteuerter Experimente schulen sollte (Seiler & Tepner, 2019).

Fragestellung 2

Kann die Maßnahme einen fachdidaktischen Wissenszuwachs der teilnehmenden Lehrkräfte im Bereich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten fördern?

Hypothese 2

Die teilnehmenden Lehrkräfte verfügen kurz- und langfristig über ein höheres fachdidaktisches Wissen im Bereich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten als vor der Fortbildung.

Die Hypothese wurde mittels der Testung des fachdidaktischen Wissens der teilnehmenden Lehrkräfte zu Beginn, am Ende und in der Hauptstudie drei Monate nach der Fortbildung überprüft. Zur Testung wurde der Test zur experimentellen Planungskompetenz, welches das fachdidaktische Wissen bezüglich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten erfasst, eingesetzt.

Fragestellung 3

Wie wird die konzipierte eintägige Lehrkräftefortbildung von den Teilnehmenden bewertet?

Hypothese 3

Die Bewertungen der Teilnehmenden bezüglich der Lehrkräftefortbildung sind positiv. Zum Testen dieser Hypothese bewerteten die Lehrkräfte am Ende der Fortbildung diese mittels dreier Fragebögen (Schmitt, 2016; Telser, 2019). Hierbei erfolgte die Bewertung hinsichtlich der Zufriedenheit mit der Maßnahme, dem subjektiven Lernerfolg und der aktuellen Motivation zum Einsatz der Fortbildungsinhalte und -materialien im Unterricht.

4 Methodik und Fortbildungsdesign

4.1 Methodik

4.1.1 Auswertungsverfahren und statistischer Hintergrund

Umgang mit Rohdaten

Zur Sicherstellung des Datenschutzes und Freiwilligkeit bezüglich der Teilnahme ist im Vorfeld von jeder Testperson eine entsprechende Erlaubnis eingeholt worden (Brandt & Moosbrugger, 2020b; Döring & Bortz, 2016). Des Weiteren wurde die Anonymität der Fragebögen mittels der Generierung eines Codes durch die einzelnen Teilnehmenden gewährleistet, sodass keine Rückschlüsse auf die Testergebnisse bestimmter Probanden gezogen werden konnten (Pospeschill, 2010). Zudem diente der Code für die Zuordnung der Prä-Post- und Follow-Up-Tests. Die Rohdaten für die Pilotierungen und die Hauptstudie wurden händisch in das Programm Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) Version 26 übertragen. Eine Umkodierung von Items war hierbei nicht notwendig (Kallus, 2010). Die Daten der Follow-Up-Testungen wurden per Online-Fragebogen erhoben, sodass ein direkter Übertrag der Rohdaten über Excel in SPSS erfolgte. Die digitalen Primärdaten befinden sich auf gesicherten Datenträgern, wohingegen die analogen Primärdaten (Tests und Fragebögen) in einem Schrank verschlossen aufbewahrt werden. Zu allen Primärdaten erhielten nur ausgewählte Projektmitarbeitende Einsicht (DFG, 2019). Die Primärdaten werden laut den Grundsätzen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis von der Universität Regensburg für zehn Jahre aufbewahrt (Ordnung der Universität Regensburg über die Grundsätze zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis, 1999).

Hinweise zum Auswertungsverfahren

Zur Auswertung wurde mittels einer Syntax in SPSS die korrekten Antwortalternativen mit einem Punkt bewertet, wohingegen falsche Angaben zu null Punkten aber nicht zu einem Punktabzug führten. Anschließend wurden die erreichten Punktwerte für jeden Teilnehmenden addiert. Im Zuge der Mittelwert-Vergleiche wurden jedoch die mittleren Scores in Prozent verwendet. Dazu wurde die erreichte Punktzahl eines Probanden durch die mögliche Gesamtpunktzahl dividiert und anschließend mit 100 multipliziert.

Umgang mit Sonderfällen

Fragebögen mit nicht beantworteten Fragen wurden für die Auswertungen nicht erfasst. Fragebögen mit fehlenden Angaben bezüglich der Schulform oder der Fächerkombination wurden hingegen in die Auswertungen einbezogen. Die fehlenden Werte wurden dabei mit -99 kodiert (Bühl, 2019; Kallus, 2010).

Schwierigkeitsindizes

Um die Schwierigkeit von Aufgaben zu ermitteln, können die Schwierigkeitsindizes der einzelnen Items berechnet werden (Kelava & Moosbrugger, 2020). Dabei entspricht dieser Index laut Lienert und Raatz (1998) dem prozentualen Anteil einer Stichprobe, welche das bestimmte Item korrekt beantwortet hat. Der Schwierigkeitsindex nimmt bei komplexen Aufgaben einen niedrigen und bei leichten Items einen hohen Wert an (Döring & Bortz, 2016). Als akzeptabel werden im allgemeinen Items angesehen, deren Lösbarkeit zwischen 20 % und 80 % liegen und als optimal, wenn der Schwierigkeitsindex des Items einen Wert von 50 % aufweist (Bühl, 2019; Döring & Bortz, 2016). Dennoch sollte ein Fragebogen Items mit sehr niedrigen Schwierigkeitsindizes unter 20 % oder Items mit hohen Schwierigkeitsindizes über 80 % beinhalten, damit leistungsstarke bzw. -schwache Probanden an den Rändern noch voneinander unterschieden werden können (Mummendey & Grau, op. 2014).

Trennschärfe

In der klassischen Itemanalyse wird die Item-Test-Korrelation als zentrales Gütekriterium betrachtet (Krohne et al., 2015). Diese Trennschärfe zeigt dabei an, „ob und wie gut die Merkmalsdifferenzierung des jeweiligen Items i mit der Merkmalsdifferenzierung, die alle Items gemeinsam leisten, übereinstimmt“ (Kelava & Moosbrugger, 2020, S. 153–154). Im Programm SPSS kann im Rahmen der Reliabilitätsanalyse die Trennschärfe der einzelnen Items in der Spalte „Korrigierte Item-Skala-Korrelation“ (vgl. Tabelle 14-2) eingesehen werden (Janssen & Laatz, 2016). Laut Döring und Bortz (2016) gelten Werte für die Trennschärfe ab .30 als akzeptabel, wohingegen Hasselhorn und Gold (2017) sowie Asendorpf und Neyer (2012) Werte ab .20 als unterste Grenze für akzeptable Items ansetzen.

Berechnung der Reliabilitäten

Die Reliabilität ist ein Maß der Zuverlässigkeit, mit dem ein Testinstrument ein Merkmal erfasst, wobei eine hohe Reliabilität erreicht wird, wenn die Messergebnisse nur einen geringen Anteil von zufälligen Messfehlern beinhalten (Gäde et al., 2020). Eine häufige Methode zur Ermittlung der Reliabilität ist die Schätzung der internen Konsistenz mittels der Berechnung des Cronbachs Alpha-Koeffizienten (Cronbach, 1951; Döring & Bortz, 2016; Wentura & Pospeschill, 2015). Der Wertebereich von Cronbachs Alpha liegt zwischen null und eins (Fromm, 2012), wobei ein Testinstrument laut F. Huber et al. (2014) mindestens ein Cronbachs Alpha von .70 vorweisen sollte. Bühner (2011) und Schnell et al. (2018) betrachten erst Werte ab .80 als akzeptabel (Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1: Cronbachs-Alpha-Werte und ihre Interpretation (Bühner, 2011)

Alpha-Wert	Interpretation
$\alpha > .90$	Hoch
$\alpha = .80 - .90$	Mittel
$\alpha < .80$	Niedrig

Zu beachten ist, dass die Reliabilität eines Tests von der Anzahl der Items beeinflusst werden kann (Eid & Schmidt, 2014). Die Reliabilitäten wurden für das Messinstrument im Rahmen der Pilotierungen und der Hauptstudie überprüft (4.1.3). Hierbei wurden die Daten der Posttests verwendet, da diese weniger durch Raten seitens der Teilnehmenden beeinflusst werden.

Korrelationen

Mit Korrelationskoeffizienten können die „Stärke und Richtung des Zusammenhangs zwischen zwei Variablen“ (Janssen & Laatz, 2016, S. 385) abgebildet werden. Werden dabei normalverteilte, intervallskalierte Daten verwendet, kann die Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson eingesetzt werden (Bühl, 2019). Hierbei liegen die Werte von Korrelationen zwischen minus eins und plus eins (Bühner & Ziegler, 2017). Die Werteinterpretation nach Bühl (2019) kann der Tabelle 4-2 entnommen werden:

Tabelle 4-2: Korrelationen und deren Interpretation (Bühl, 2019)

Korrelation	Klassifikation der Effektgröße	
Pearson-Korrelation, r_p	bis .20	Sehr geringe Korrelation
	bis .50	Geringe Korrelation
	bis .70	Mittlere Korrelation
	bis .90	Hohe Korrelation
	ab .90	Sehr hohe Korrelation

Normalverteilung

Für bestimmte statistische Signifikanztests, wie dem t-Test für abhängige Stichproben, wird die Normalverteilung eines Merkmals in der Gesamtpopulation vorausgesetzt (Döring & Bortz, 2016; Raab-Steiner & Benesch, 2018). Die Prüfung auf Normalverteilung kann dabei mittels des Shapiro-Wilk-Tests erfolgen (Janssen & Laatz, 2016). Im Gegensatz zum Kolmogorov-Smirnov-Test besitzt der Shapiro-Wilk-Test eine höhere statistische Power und eignet sich insbesondere auch für kleinere Stichproben mit $n < 50$ (Razali & Wah, 2011; Schlittgen, 2004; Steinskog et al., 2007; Steland, 2004). Nimmt er einen Wert von $p < .05$ an, wird von einer signifikanten Abweichung von einer Normalverteilung ausgegangen, sodass diese nicht angenommen werden kann (Bühl, 2019). Des Weiteren besteht die Möglichkeit, die Normalverteilung mit Hilfe von Histogrammen oder Q-Q-Diagrammen graphisch zu überprüfen (Brosius, 2018; Janssen & Laatz, 2016).

Sphärizität

Die Sphärizitätsannahme für einfaktorielle Varianzanalysen mit Messwertwiederholung lässt sich durch den Mauchly-Tests ermitteln, wobei keine Sphärizität vorliegt, wenn das Testergebnis signifikant ist (Janczyk & Pfister, 2020; Mauchly, 1940). Dabei wird überprüft, ob „die Varianzen der Differenzen zwischen je zwei Faktorstufen homogen“ (Döring & Bortz, 2016, S. 884) sind. Jedoch ist zu beachten, dass dieser Test bei einer zu

kleinen und zu großen Stichprobe eine geringe Teststärke aufweist sowie anfällig für die Verletzung der Normalverteilung ist (O'Brien & Kaiser, 1985; Rasch et al., 2014b).

t-Test

Um Veränderungshypothesen über zwei Messzeitpunkte zu überprüfen, kann ein t-Test für gepaarte bzw. verbundene Stichproben durchgeführt werden (Eckstein, 2016). Dabei zeigt der t-Test an, „ob eine empirische Mittelwertsdifferenz signifikant ist oder vermutlich auf Zufall beruht“ (Rasch et al., 2014a, S. 44). Das Signifikanzniveau wird in der empirischen Bildungsforschung zumeist bei 5 % festgelegt (Döring & Bortz, 2016; Eid et al., 2015). Ist der Signifikanzwert größer als .05, wird die Nullhypothese nicht abgelehnt, sodass die Mittelwertsdifferenz durch Zufall entstanden ist (Budischewski & Günther, 2020; Rasch et al., 2014a). Die Signifikanzen werden in Tabelle 4-3 aufgezeigt:

Tabelle 4-3: Angabe der Signifikanzen (Bühl, 2019)

Irrtumswahrscheinlichkeit	Bezeichnung	Niveaumarkierung
$p > .05$	nicht signifikant	n. s.
$p \leq .05$	signifikant	*
$p \leq .01$	hoch signifikant	**
$p \leq .001$	höchst signifikant	***

Zu beachten ist, dass dieses parametrische Testverfahren nur bei Intervallskalierung sowie bestehender Normalverteilung verwendet werden sollte (Field, 2015; Rasch et al., 2014a). Jedoch ist der t-Test insbesondere ab $n \geq 30$ relativ robust gegenüber der Verletzung der Normalverteilung (Brosius, 2018; Cleff, 2019; Janczyk & Pfister, 2020). Eine Alternative zum gepaarten t-Test bei Verletzung der Normalverteilung stellt der nichtparametrische Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test dar (Duller, 2018; Janssen & Laatz, 2016).

Effektstärke

Da bei großen Stichproben auch kleine Effekte statistisch signifikant werden, wird empfohlen, bei statistisch signifikanten Ergebnissen zusätzlich die Effektstärke zu berechnen (American Psychological Association, 2020; Döring & Bortz, 2016; Schäfer, 2016). Im Rahmen eines t-Tests für abhängige Stichproben eignet sich hierbei Cohens d_z , bei dem im Unterschied zum Cohens d für unabhängige Stichproben noch die Abhängigkeit der Messzeitpunkte miteinbezogen wird (Rasch et al., 2014a). Cohens d für unabhängige Stichproben ist für die vorliegende Studie nicht relevant. Die Effektgrößen sind in Tabelle 4-4 angegeben (Cohen, 1988; Janczyk & Pfister, 2020):

Tabelle 4-4: Grenzen der Effektstärke d_z (Cohen, 1988)

d_z – Wert	Bezeichnung
$d_z = .20$	Kleiner Effekt
$d_z = .50$	Mittlerer Effekt

$d_z = .80$	Großer Effekt
-------------	---------------

Wird hingegen der nichtparametrische Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test aufgrund von Verletzung der Normalverteilung verwendet, kann Cohens r zur Berechnung der Effektstärke (Tabelle 4-5) herangezogen werden (Bühner & Ziegler, 2017; Cohen, 1988):

Tabelle 4-5: Grenzen der Effektstärke r (Cohen, 1988)

r – Wert	Bezeichnung
$r = .10$	Kleiner Effekt
$r = .30$	Mittlerer Effekt
$r = .50$	Großer Effekt

Die Effektstärke für das signifikante Ergebnis einer ANOVA kann mittels Eta-Quadrat ermittelt werden, dessen Effektgrößen in Tabelle 4-6 aufgezeigt sind (Cohen, 1988):

Tabelle 4-6: Grenzen der Effektstärke η^2 (Cohen, 1988)

η^2 – Wert	Bezeichnung
$\eta^2 = .01$	Kleiner Effekt
$\eta^2 = .06$	Mittlerer Effekt
$\eta^2 = .14$	Großer Effekt

Dabei ist zu beachten, dass für eine ANOVA mit Messwertwiederholung das partielle Eta-Quadrat (η^2) verwendet wird (Rasch et al., 2014b).

Varianzanalyse

Um die α -Fehler-Kumulierung sowie die Verringerung der Teststärke zu vermeiden, sollte bei dem Vergleich von drei Mittelwerten zu verschiedenen Zeitpunkten eine ein-faktorielle Varianzanalyse mit Messwertwiederholung (repeated measures ANOVA) durchgeführt werden (Rasch et al., 2014b). Hierbei sollten als Voraussetzungen die Varianzhomogenität, die Sphärizität sowie die Normalverteilung im Vorfeld überprüft werden (Field, 2015; F. Huber et al., 2014; Rasch et al., 2014b). Da es sich bei einer rmANOVA um einen Omnibus-Test handelt, bei dem ein signifikantes Ergebnis nur anzeigt, „dass sich mindestens ein Mittelwert der untersuchten Gruppen von den anderen statistisch bedeutsam unterscheidet“ (Rasch et al., 2014b, S. 18), sollte im Anschluss die Bonferroni korrigierten Post-hoc-Mehrfachvergleiche ausgeführt werden (Girden, 1992; Janssen & Laatz, 2016).

Residuen

Werden Differenzen von Prä- und Posttestergebnissen berechnet, sollte beachtet werden, dass das Vorwissen einen Einfluss auf den Wissenszuwachs hat. Personen mit einem niedrigen Vorwissen können im Zuge einer Maßnahme im Gegensatz zu Personen mit

einem hohen Vorwissen ihr Wissen in einem deutlich höheren Umfang steigern. Um diesen Umstand zu berücksichtigen, können die z-standardisierten Residuen, welche die Abweichung vom Modell geschätzten Wert zum beobachtbaren Wert anzeigen (Aichholzer, 2017; Döring & Bortz, 2016), berechnet werden (Tepner et al., 2010).

Item-Response-Theorie

In der Item-Response-Theorie (IRT) hängt die Wahrscheinlichkeit, dass eine Person ein bestimmtes Item korrekt beantwortet, von der Schwierigkeit des Items und der latenten Personenfähigkeit ab (Geiser & Eid, 2010). In diesem Projekt findet das Rasch-Modell, bei dem als Annahme alle Items des Messinstruments eine latente Fähigkeit messen, seine Anwendung (Moosbrugger et al., 2020). Für die Analyse der Aufgabenparameter wird die *Mean-Square-(MNSQ)-Fit*-Statistik ermittelt (Neumann, 2014). Dabei sollten der MNSQ-Werte des Infits einen Wert zwischen .70 und 1.3 aufweisen und die t-Werte im Bereich zwischen $-2 < t < +2$ liegen (Neumann, 2014; Smith et al., 2008). Bei der Analyse der genannten Werte sollen keine „Aufgaben nur aufgrund einzelner Kriterien ausgeschlossen oder für Rasch-konform befunden werden“ (Neumann, 2014, S. 363), sondern zuerst eine fachdidaktische Beurteilung der entsprechenden Aufgaben erfolgen. Ein Vorteil von IRT-Modellen ist, dass „eine Lokalisation von sowohl Aufgabenschwierigkeiten als auch Personenmerkmalen auf einer gemeinsamen Skala“ (Hartig & Frey, 2013, S. 48) möglich ist. Eine Visualisierung kann mittels einer Wright Map erfolgen, bei der die Fähigkeiten der Probanden und die Itemschwierigkeiten gegenübergestellt werden (Neumann, 2014).

Gütekriterien des Messinstruments zur experimentellen Planungskompetenz

Objektivität

Die Objektivität zählt zu den Hauptgütekriterien und legt fest, „ob ein Test bzw. dessen Ergebnis von der Person des Testanwenders unabhängig ist“ (Döring & Bortz, 2016, S. 442). Somit sollten verschiedene Testleiter bei gleichen Probanden dasselbe Testergebnis unabhängig von beispielsweise Ort und Zeit ermitteln (Moosbrugger & Kelava, 2020; Schwaighofer et al., 2019). Die Objektivität lässt sich dabei in die Durchführungs-, Auswertungs- und Interpretationsobjektivität unterteilen (Imhof, 2020).

Um eine hohe Durchführungsobjektivität zu gewährleisten, wurden die Rahmenbedingungen bei der Testung, wie z. B. Hilfsmittel, Materialien oder Instruktionen, standardisiert (Schwaighofer et al., 2019). Bezüglich der Instruktionen wurden den Teilnehmenden schriftliche Anweisungen, die Hinweise u. a. zur Reihenfolge der Itembeantwortung und Testzeit beinhaltete, im Vorfeld der Testung gegeben (Moosbrugger & Kelava, 2020). Jedoch erfolgte die Follow-Up-Testung der Lehrkräfte zu Hause, sodass hierbei keine Kontrolle über den Einsatz von Hilfsmitteln erfolgen konnte. Die Auswertungsobjektivität ist durch die Verwendung eines standardisierten Fragebogens mit gebundenem Antwortformat sowie den Einsatz des Statistik-Programms SPSS mit einer darin programmierten Syntax zur Ermittlung der Punktwerte gegeben (Döring & Bortz, 2016;

Moosbrugger & Kelava, 2020). Eine angekreuzte Antwortalternative wurde dabei mit eins, im gegensätzlichen Fall mit null kodiert. Bei Zuordnungsfragen wurden den einzutragenden Buchstaben festgelegte Zahlen beim Übertragen in SPSS zugeordnet. Die Interpretationsobjektivität wird durch die transparente Angabe der Beurteilungsmaßstäbe umgesetzt. Diese orientieren sich dabei an den üblichen Standards der empirischen Bildungsforschung (Krüger et al., 2014; Reinders et al., 2015).

Reliabilität

Die Reliabilität ist ein weiteres Hauptgütekriterium und gibt dabei die Messgenauigkeit, mit der das Messinstrument ein Konstrukt misst, an (Bühner, 2011; Schwaighofer et al., 2019). Dabei ist zu beachten, dass die Reliabilität von der Objektivität abhängig ist, da eine geringe Objektivität Messfehler verursacht (Döring & Bortz, 2016). Die Reliabilität wurde im Rahmen der Testentwicklung mehrfach mittels des Alphakoeffizienten nach Cronbach geschätzt (Cronbach, 1951; Döring & Bortz, 2016). Die Ergebnisse für die Pilotierungen sowie die Hauptstudie können in Kapitel 4.1.3 eingesehen werden.

Validität

Die Validität wird als wichtigstes Gütekriterium angesehen (Döring & Bortz, 2016) und ist dann gegeben, „wenn der Test das Merkmal, das er messen soll, auch wirklich misst“ (Moosbrugger & Kelava, 2020, S. 30). Die inhaltliche Validität des Tests zur experimentellen Planungskompetenz kann als gewährleistet betrachtet werden, da der Test theoriebasiert und unter Einbezug von Experten entwickelt wurde (Schwaighofer et al., 2019). Des Weiteren wurde die Validität des Messinstruments anhand eines externen Kriteriums ermittelt (Lienert & Raatz, 1998). Dazu wurde der experimentell-fachdidaktische Test nach Backes et al. (2012) eingesetzt. Die Validierungsstudie erfolgte im Rahmen eines Studierendenseminars, das ebenfalls die Planungskompetenz bezüglich selbstgesteuerter Experimente förderte (Seiler & Tepner, 2019, 2020). Die Ergebnisse dieser Validierungsstudie sind in Kapitel 4.1.3 aufgeführt.

4.1.2 Forschungsdesign

Das primäre Ziel dieses Forschungsprojekts war die Entwicklung und Evaluierung einer eintägigen Fortbildung für Lehrkräfte der Realschulen, Gymnasien sowie Fach- und Berufsoberschulen, um die Planungskompetenz der Teilnehmenden hinsichtlich selbstgesteuerter Experimente zu fördern. Der Zeit- und Arbeitsplan dieses Forschungsprojekts kann der Tabelle 4-7 entnommen werden. Dabei wurde im Rahmen der Präpilotierung das Fortbildungskonzept evaluiert. Anschließend erfolgten parallel die Entwicklung des Messinstruments sowie die Überarbeitung des Fortbildungskonzepts. Im Zuge der Pilotierungen I und II wurde die Güte des Messinstruments überprüft. Die Hauptstudie diente zur Generierung der Daten, um die Hypothesen 1 und 2 zu testen. Abschließend wurde das Messinstruments anhand eines experimentell-fachdidaktischen Tests mit Hilfe eines Studierendenseminars, welches ebenfalls die Planungskompetenz der Teilnehmenden hinsichtlich selbstgesteuerter Experimente schulen soll, validiert.

Tabelle 4-7: Zeit- und Arbeitsplan

Zeitraum	Arbeitsplan
August 2018 – November 2018	<ul style="list-style-type: none"> • Literaturrecherche
November 2018 – Januar 2019	<ul style="list-style-type: none"> • Festlegung des Untersuchungsdesigns • Entwicklung des Fortbildungskonzepts
Februar 2019	<ul style="list-style-type: none"> • Präpilotierung zur Evaluation des Fortbildungskonzepts
Februar 2019 – Juli 2019	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung des Messinstruments • Überarbeitung des Fortbildungskonzepts
Juli 2019 – Oktober 2019	<ul style="list-style-type: none"> • Pilotierung I mit Datenerhebung zur Evaluation des Messinstruments
Oktober 2019 – November 2019	<ul style="list-style-type: none"> • Auswertung der Daten der Pilotstudie I • Überarbeitung des Messinstruments
November 2019 – Dezember 2019	<ul style="list-style-type: none"> • Pilotierung II mit Datenerhebung zur finalen Evaluation des Messinstruments
Januar 2020 – September 2020	<ul style="list-style-type: none"> • Hauptstudie mit Datenerhebung
ab Oktober 2020	<ul style="list-style-type: none"> • Validierung des Messinstruments • Finale Auswertung • Dokumentation und Publikation

Zur Erfassung der Planungskompetenz bezüglich selbstgesteuerter Experimente wurde im Rahmen der Pilotierungen I und II die Prä-Post-Testungen der Teilnehmenden mittels eines standardisierten schriftlichen Fragebogens im Multiple-Choice-Multiple-Select-Format (4.1.3) durchgeführt. Hierbei fand die erste Testung unmittelbar vor dem Beginn der Fortbildung statt, wohingegen die zweite Testung direkt am Ende des Fortbildungstages erfolgte. Des Weiteren wurde dann auch die Lehrkräftefortbildung mit einem schriftlichen Evaluationsbogen durch die Teilnehmenden beurteilt. Im Zuge der Hauptstudie wurde ein dritter Messzeitpunkt in das Forschungsdesign integriert (Abbildung 4-1). Hierbei wurden zusätzlich Daten mittels Follow-Up-Testungen drei Monate nach Durchführung der Maßnahme per Online-Fragebogen generiert. Zu allen drei Messzeitpunkten wurde bezüglich des Inhalts der gleiche fachdidaktische Test verwendet.

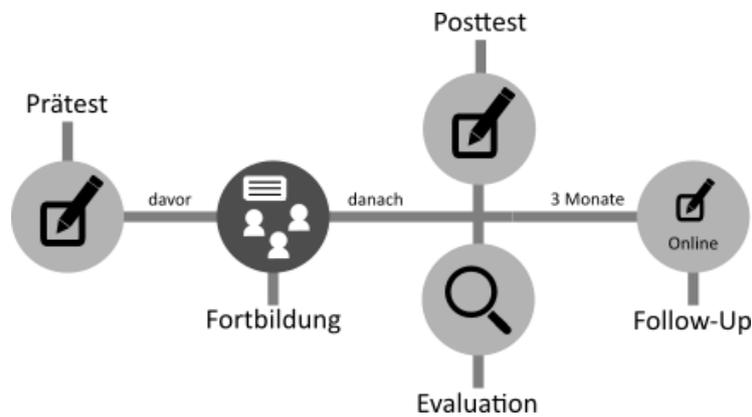


Abbildung 4-1: Forschungsdesign der Hauptstudie

4.1.3 Testkonstruktion

Die Entwicklung des Messinstruments orientiert sich in wesentlichen Punkten an den Stufen der Testentwicklung nach Bühner (2011), die in Tabelle 4-8 abgebildet sind. Vergleichende Schritte einer Testkonstruktion lassen sich beispielweise auch in Eid und Schmidt (2014), Kallus (2010) oder Brandt und Moosbrugger (2020a) finden.

Tabelle 4-8: Stufen der Testentwicklung (Bühner, 2011)

Testkonstruktionsprozess

1. Anforderungsanalyse und Problemstellung
2. Planung und Literatursuche
3. Eingrenzung des Merkmals und Arbeitsdefinition
4. Testentwurf
5. Überprüfung des Testentwurfs
6. Verteilungsanalyse
7. Itemanalyse und Itemselektion
8. Kriterienkontrolle
9. Revision des Tests
10. Eichung/Cut-off-Wert

Anforderungsanalyse und Eingrenzung des Merkmals

Das Messinstrument soll hinsichtlich der Festlegung des zu erfassenden Konstrukts die Planungskompetenz von Lehrkräften (2.2) erfassen. Das Konstrukt kann dabei auf die Planung von selbstgesteuerten Experimenten eingegrenzt werden. Dieser Kompetenzbereich wird dem fachdidaktischen Wissen nach Shulman (1987) sowie dem ePCK nach Carlson et al. (2019) zugeordnet (2.1.4). Hierzu ist im Vorfeld eine ausführliche Literaturrecherche (vgl. Tabelle 4-7) durchgeführt worden. Des Weiteren wurde aufgrund des favorisierten geschlossenen Fragebogens ein Vergleich zu bestehenden Messinstrumenten, wie z. B. zum experimentell-fachdidaktischen Wissenstest nach Backes et al. (2012),

in der Phase der Literaturrecherche berücksichtigt. Somit erfolgte im Rahmen der Literaturrecherche und der Erstellung des Strukturierungskonzepts (Ehlert & Tepner, 2020) (4.2.2), welches ein möglicher Leitfaden für die Planung von selbstgesteuerten Experimenten darstellt, die weitere Eingrenzung des Konstrukts für das Messinstrument.

Hierbei zeigte sich, dass für die Planung von selbstgesteuerten Experimenten seitens der Lehrkräfte das Wissen über verschiedene Öffnungsmöglichkeiten von Experimentiersituationen sowie deren adressatengerechte Anwendungen im Unterricht elementar ist (2.4.4). Hierzu zählen auch Kenntnisse über die Arten von lernunterstützenden Maßnahmen, wie z. B. Tippkarten oder Feedback, sowie deren passgenauer Einsatz in bestimmten Experimentierphasen (2.4.4.5). Zudem sollten die Lehrkräfte mit den möglichen naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozessen vertraut sein. Des Weiteren spielen die Kenntnis und Anwendung von Bildungsstandards mit ihren Kompetenzbereichen eine wesentliche Rolle bei der Entwicklung von geöffneten Experimentieransätzen. Die Konstrukte, die in den einzelnen Fragen des finalen Messinstruments erfasst werden, sind in Tabelle 4-9 aufgeführt.

Tabelle 4-9: Konstrukte der einzelnen Fragen

Frage	Konstrukt
1	Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnungsprozesse
2	Selbstgesteuertes Experimentieren
3	Öffnungsmöglichkeiten von Experimentiersituationen
4	Kompetenzbereiche
5	Öffnungsmöglichkeiten von Experimentiersituationen
6	Unterstützungsmaßnahmen
7	Öffnungsmöglichkeiten von Experimentiersituationen
8	Öffnungsmöglichkeiten von Experimentiersituationen
9	Unterstützungsmaßnahmen
10	Öffnungsmöglichkeiten von Experimentiersituationen
11	Öffnungsmöglichkeiten von Experimentiersituationen
12	Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnungsprozesse
13	Öffnungsmöglichkeiten von Experimentiersituationen
14	Öffnungsmöglichkeiten von Experimentiersituationen
15	Öffnungsmöglichkeiten von Experimentiersituationen
16	Unterstützungsmaßnahmen
17	Öffnungsmöglichkeiten von Experimentiersituationen
18	Kompetenzbereiche

Um den Einfluss von chemischem Fachwissen auf das fachdidaktische Wissen zu verringern, sind die chemischen Schulkontexte, in denen die Fragen eingebettet sind, primär

aus dem Anfangsunterricht der Realschulen und Gymnasien ausgewählt (vgl. Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst, 2016; vgl. ISB, 2020).

Testentwurf

Das Messinstrument ist hinsichtlich der Zielgruppe primär für Lehrkräfte der Realschulen, Gymnasien sowie Fach- und Berufsoberschulen, die sich entweder in der zweiten oder dritten Bildungsphase (2.3) befinden, entworfen.

Laut Lienert und Raatz (1998) sollten Fragebögen so konzipiert sein, dass eine geringe Häufigkeit von Zufallslösungen auftritt. Dies wird mit der Wahl eines gebundenen Antwortformats in Form der Mehrfach-Wahlaufgabe mit vier Antwortalternativen, die in der modernen Testkonstruktion unter Multiple Choice-Aufgaben bekannt sind (Döring & Bortz, 2016), berücksichtigt (Bühner, 2011). Dieses Itemformat zeichnet sich zudem durch eine hohe Durchführungs- und Auswertungsökonomie aus (Moosbrugger & Brandt, 2020a). Die Disktraktoren, die als falsche Antwortalternativen bei der Testkonstruktion generiert werden, sollten einen ähnlichen Schwierigkeitsgrad wie ein korrekter Attraktor aufweisen sowie plausibel erscheinen (Lienert & Raatz, 1998; Wilcox, 1981), damit „ein uninformatierter Untersuchungsteilnehmer sämtliche Antwortalternativen mit möglichst gleicher Wahrscheinlichkeit für richtig hält“ (Döring & Bortz, 2016, S. 215). Ergänzend sind zwei Zuordnungsaufgaben, die sich ebenfalls durch eine gute Durchführungs- sowie Auswertungsökonomie auszeichnen, im Messinstrument enthalten (Pospeschill, 2010). Diese weisen zwar in bestimmten Fällen eine höhere Ratewahrscheinlichkeit auf, jedoch wurde dies durch die hohe Anzahl an Antwortalternativen vermindert (Eid & Schmidt, 2014; Moosbrugger & Brandt, 2020a). Allgemein ist im gesamten Fragebogen auf die Permutation der korrekten Antwortalternativen geachtet worden (Eid & Schmidt, 2014).

Die sprachliche Verständlichkeit der Items nach Moosbrugger und Brandt (2020b) wurde gewährleistet, indem die Items positiv formuliert. Folglich wurden keine Negationen verwendet. Zudem wurde auf unnötige Fachbegriffe oder Abkürzungen verzichtet. Darüber hinaus sind die Texte der Items verständlich und zielgerichtet formuliert.

Zur Überprüfung dieser Aspekte wurde im Vorfeld das Regensburger Analysetool für Texte eingesetzt, um die Lesbarkeitindizes der Items zu ermitteln (J. Wild & Schilcher, 2019). Hierbei zeigten sich bei allen Items einschließlich der Antwortmöglichkeiten ein für Lehrkräfte geeigneter gSmog-Wert. Dieser Wert gibt näherungsweise das Lesealter gemäß der Schulstufen an (Bamberger & Vanecek, 1984; J. Wild & Schilcher, 2019). Dabei wurde bei der Testkonstruktion davon ausgegangen, dass die Lehrkräfte mindestens die Lesekompetenz eines Lernenden der zwölften Jahrgangsstufe aufweisen.

Zudem wurden die ermittelten Lesezeitwerte dieses Programms zur Berechnung der Testbearbeitungszeit herangezogen. Die berechneten Lesezeit- sowie gSmog-Werte für das finale Messinstrument können der Tabelle 4-10 entnommen werden, wobei alle Items mit Ausnahme des zehnten Items einen gSmog-Wert deutlich unter zwölf aufweisen. Damit sollten die Fragen von Lehrkräften problemlos zu verstehen sein und keinen Einfluss auf die Itemschwierigkeiten haben.

Tabelle 4-10: Berechnung der Lesedauer sowie des gSmog-Werts

Item	Lesedauer der Fragestellung mit Antwortmöglichkeiten	gSmog-Wert der Fragestellung mit Antwortmöglichkeiten
1	Unter 1 min.	9.71
2	Unter 1 min.	7.49
3	Ca. 1 min.	9.78
4	Ca. 1 min.	11.58
5	Ca. 1 min.	9.94
6	Unter 1 min.	9.62
7	Ca. 1 min.	10.42
8	Ca. 1 min.	8.12
9	Ca. 1 min.	7.71
10	Ca. 1 min.	12.32
11	Ca. 1 min.	11.60
12	Unter 1 min.	7.49
13	Ca. 1 min.	10.25
14	Ca 1 min.	8.76
15	Unter 1 min.	9.62
16	Ca. 1 min.	9.71
17	Ca. 1 min.	9.15
18	Ca. 1 min.	10.07

Zudem beträgt die reine Lesedauer der einzelnen Fragestellungen mit ihren Antwortmöglichkeiten im Durchschnitt eine Minute. Der zeitliche Aspekt konnte im Rahmen der Validierung und der Follow-Up-Studie bestätigt werden, da in diesen Studien die Daten per Online-Fragebogen mit einer automatischen Zeiterfassung erhoben wurden. Im Zuge der Validierung benötigten die 40 Studierenden für den Prä-Test im Durchschnitt 17.51 min. und 14.12 min. für den Post-Test. Die Lehrkräfte in der Follow-Up-Studie wendeten im Durchschnitt nur 11.52 min. für die Testung auf. Somit kann von einer maximalen Bearbeitungszeit von 20 min. ausgegangen werden.

Darüber hinaus sind im Zuge der Itemkonstruktion keine Wertungen sowie suggestive Formulierungen, die den Probanden eine Antwortrichtung implizit aufzeigen, eingesetzt worden (Moosbrugger & Brandt, 2020b; Raab-Steiner & Benesch, 2018). Verallgemeinernde Formulierungen, wie immer oder niemals, oder quantifizierende Umschreibungen wurden vermieden (Döring & Bortz, 2016; Raab-Steiner & Benesch, 2018).

Beim Aufbau des Fragebogens wurden ein ansprechendes strukturiertes Layout verwendet und zusätzlich klare einleitende Instruktionen auf dem Deckblatt sowie eine Zusicherung der Anonymität durch die selbsttätige Generierung eines Codes eingesetzt (Brandt & Moosbrugger, 2020b; Döring & Bortz, 2016). Bezüglich des Schwierigkeitsgrads der

Items sind sogenannte „Eisbrecherfragen“ zu Beginn des Fragebogens integriert, um die Motivation sowie das Interesse der Teilnehmenden zu wecken (Raab-Steiner & Benesch, 2018).

Die Fragen sind in konkrete, schulspezifische Experimentiersituationen eingebettet, bei denen ein Lehrender in der zweiten Ausbildungsphase Hilfe einer erfahrenen Lehrkraft benötigt. Der zu Testende nimmt somit im Zuge der Beantwortung der Fragen eine Expertenrolle ein, sodass der Proband sich emotional distanziert und die Testsituation unbewusster wahrnimmt (Tepner & Dollny, 2014a). Als Beispiele ist in der Tabelle 4-11 eine Frage im Multiple-Choice-Multiple-Select-Format aus dem finalen Messinstrument zur experimentellen Planungskompetenz dargestellt:

Tabelle 4-11: Multiple-Choice-Multiple-Select-Frage aus dem finalen Messinstrument

Frage 7	
Ihre Referendarin plant eine Unterrichtsstunde mit einem Schülerexperiment. Nun möchte sie von Ihnen gerne wissen, was sie bei der methodischen Umsetzung bezüglich der Chemikalien und des Labormaterials beachten soll, um das Experiment in diesem Aspekt möglichst offen gestalten zu können.	
Antwortmöglichkeiten	
<input type="checkbox"/>	Die Schülerinnen und Schüler können aus einem zielführenden Angebot aus Chemikalien und Labormaterialien frei wählen.
<input type="checkbox"/>	Die Schülerinnen und Schüler können bei den Chemikalien und den Labormaterialien aus einem bereitgestellten Angebot, mit vorwiegend zielführenden Labormaterialien, auswählen.
<input type="checkbox"/>	Die Schülerinnen und Schüler können bei den Laborgeräten aus einem bereitgestellten Angebot auswählen und die Chemikalien sind auf das Experiment beschränkt.
<input checked="" type="checkbox"/>	Die Schülerinnen und Schüler können bei den Chemikalien und den Labormaterialien aus einem bereitgestellten Angebot auswählen. Dabei sind nicht alle Labormaterialien zielführend für das Experiment.

Das Messinstrument enthält außerdem zwei Zuordnungsfragen. Eine Zuordnungsfrage aus dem finalen Messinstrument experimentellen Planungskompetenz in Tabelle 4-12 beschrieben.

Tabelle 4-12: Zuordnungsfrage aus dem finalen Messinstrument

Frage 1
Mit Hilfe hypothesengeleiteter Experimente können Sie das selbstgesteuerte Experimentieren im Unterrichten umsetzen. Bringen Sie bitte die folgenden Schritte eines hypothesen-testenden Erkenntnisgewinnungsprozesses in eine dem wissenschaftlichen Vorgehen entsprechende Reihenfolge.

<ul style="list-style-type: none"> a) Eine Hypothese aufstellen b) Ein Experiment durchführen c) Eine Schlussfolgerung aus den Ergebnissen formulieren d) Die Beobachtungen beim Experimentieren aufnehmen e) Eine Fragestellung zu einer gegebenen Problemstellung formulieren f) Die gewonnenen Daten aufbereiten g) Ein Experiment zu einer Hypothese planen 						
e	a	g	b	d	f	c
1. Schritt	2. Schritt	3. Schritt	4. Schritt	5. Schritt	6. Schritt	7. Schritt

Überprüfung des Testentwurfs

Im Vorfeld führten drei Fachdidaktiker, eine Lehrkraft mit abgeschlossenem zweiten Staatsexamen und Studierende im höheren Semester den Test durch. Nach der Durchführung wurde die Nachfragetechnik verwendet, um Verständnisschwierigkeiten und unklare Formulierungen bei den Items zu identifizieren (Bühner, 2011).

In der Folge wurden einige Items und ihre Antwortmöglichkeiten neu formuliert, um die Verständlichkeit zu verbessern. Dabei wurden auch Schlüsselwörter in den Items hervorgehoben. Des Weiteren wurde im Zuge dieser Befragung der Schwierigkeitsgrad der Items ermittelt, wobei sich zeigte, dass das gewählte Single-Choice-Format das Messinstrument zu stark vereinfacht. Um den Schwierigkeitsgrad zu erhöhen und zusätzlich die Ratewahrscheinlichkeit zu verringern, wurde das Antwortformat von Single- in Multiple-Choice mit Multiple-Select geändert, bei denen eine bis drei Antwortalternativen korrekt sein können (Eid & Schmidt, 2014; Rodriguez, 2005). In der Befragung wurden außerdem die Bearbeitungszeit der Probanden abgefragt, um die Berechnungen des Regensburger Analysetools für Texte abzugleichen. Hierbei musste keine Veränderung bezüglich der Bearbeitungszeit vorgenommen werden. Zusätzlich wurde der Testentwurf von zwei Fachchemikern zur Überprüfung bearbeitet, wobei keine fachchemischen Fehler identifiziert werden konnten.

Überprüfung der Reliabilitäten

Im Zuge der Pilotstudien I und II erfolgten die empirischen Erprobungen der vorläufigen Testversionen anhand einer kleineren Stichprobe (Brandt & Moosbrugger, 2020b). Hierbei standen primär die Analyse der Trennschärfen und der Itemschwierigkeiten sowie die Ermittlung der Reliabilität des gesamten Messinstrument im Vordergrund (Kelava & Moosbrugger, 2020).

Der Testentwurf für die Pilotstudie I enthielt 14 Fragen mit je vier Antwortalternativen und zwei Fragen mit sieben und fünf Antwortalternativen, sodass insgesamt die Reliabilität von 68 Antwortalternativen geschätzt wurde. Dabei wiesen acht Antwortalternativen eine Varianz von null auf, worauf das Cronbachs Alpha für 60 Antwortalternativen bei .553 lag (Tabelle 14-1). Wegen unklarer Formulierungen von Antwortalternativen, die zu Problemen bei der Bearbeitung führten, sowie negativer Trennschärfen wurden

weitere Antwortalternativen entfernt (Tabelle 14-2), sodass ein Cronbachs Alpha von .768 für die verbleibenden 37 Antwortalternativen ermittelt werden konnte (Tabelle 4-13).

Tabelle 4-13: Pilotierung I - Reliabilitätsstatistiken

Reliabilitätsstatistiken		
Cronbachs Alpha	Cronbachs Alpha für standardisierte Antwortalternativen	Anzahl der Antwortalternativen
.768	.780	37

Aufgrund der nachfolgenden Überarbeitung und der Integration von zwei weiteren Items mit je vier Antwortalternativen beinhaltete das verbesserte Messinstrument 76 Antwortalternativen, die im Rahmen der Pilotierung II ein Cronbachs Alpha von .701 aufzeigten (Tabelle 14-3). Nach der anschließenden Entfernung aller Antwortalternativen, deren Trennschärfen unter .10 lagen (Tabelle 14-4), konnte das Cronbachs Alpha von den 32 verbliebenen Antwortalternativen auf .873 geschätzt werden (Tabelle 4-14). Zu beachten ist, dass mindestens eine Antwortalternative pro Item aus Gründen der Validität behalten wurde.

Tabelle 4-14: Pilotierung II - Reliabilitätsstatistiken

Reliabilitätsstatistiken	
Cronbachs Alpha	Anzahl der Antwortalternativen
.873	32

Im Zuge der Hauptstudie zählte das Messinstrument wie in der Pilotierung II insgesamt zunächst 76 Antwortalternativen, die ein Cronbachs Alpha von .637 aufzeigten (Tabelle 14-5). Für die finale Berechnung wurden alle Antwortalternativen entfernt, die eine Trennschärfe unter .20 hatten (Tabelle 14-6). Das Cronbachs Alpha betrug für die restlichen 35 Antwortalternativen .827 (Tabelle 4-15).

Tabelle 4-15: Hauptstudie - Reliabilitätsstatistiken

Reliabilitätsstatistiken	
Cronbachs Alpha	Anzahl der Antwortalternativen
.827	35

Würden bei der Reliabilitätsanalyse zum Vergleich nur die Fragen in der Gesamtheit betrachtet (es würde nur 1 Punkt vergeben werden, wenn alle Antwortalternativen pro Frage korrekt angegeben worden wären), wiesen diese einen Cronbachs Alpha von .476 auf (Tabelle 14-7).

An der Follow-Up-Studie nahmen insgesamt 14 Lehrkräfte teil. Die Teilnehmenden der Follow-Up-Studie wurden aus den Fortbildungen der Hauptstudie generiert. Um die Daten miteinander vergleichen zu können, wurden die Berechnung der Reliabilitäten aus der Hauptstudie aus Tabelle 4-15 übernommen und folglich die gleichen 35 Antwortalternativen für die Auswertung verwendet. Für die Testung der Validität wurden ebenfalls die gleichen 35 Antwortalternativen herangezogen.

Überprüfung der Itemschwierigkeiten

Für die Antwortalternativen der Hauptstudie wurden zudem die Itemschwierigkeiten im Posttest ermittelt (Tabelle 4-16).

Tabelle 4-16: Itemschwierigkeiten der Posttest-Daten der Hauptstudie

Antwortalternative	Schwierigkeitsindex	Antwortalternative	Schwierigkeitsindex	Antwortalternative	Schwierigkeitsindex
2_1	100 %	3_1	72 %	4_1	93 %
2_2	95 %	3_2	51 %	4_2	84 %
2_3	100 %	3_3	49 %	4_3	95 %
2_4	95 %	3_4	49 %	4_4	72 %
5_1	88 %	6_1	47 %	7_1	79 %
5_2	53 %	6_2	67 %	7_2	65 %
5_3	70 %	6_3	67 %	7_3	91 %
5_4	98 %	6_4	74 %	7_4	84 %
8_1	37 %	9_1	47 %	10_1	88 %
8_2	77 %	9_2	21 %	10_2	60 %
8_3	58 %	9_3	74 %	10_3	47 %
8_4	44 %	9_4	93 %	10_4	84 %
11_1	88 %	13_1	84 %	14_1	98 %
11_2	95 %	13_2	53 %	14_2	100 %
11_3	40 %	13_3	93 %	14_3	98 %
11_4	86 %	13_4	74 %	14_4	58 %
15_1	21 %	16_1	79 %	17_1	81 %
15_2	91 %	16_2	47 %	17_2	98 %
15_3	91 %	16_3	72 %	17_3	95 %
15_4	84 %	16_4	33 %	17_4	98 %
18_1	74 %	1_1	98 %	12_1	98 %
18_2	81 %	1_2	98 %	12_2	44 %
18_3	81 %	1_3	98 %	12_3	44 %
18_4	93 %	1_4	100 %	12_4	44 %
		1_5	93 %	12_5	100 %
		1_6	65 %		
		1_7	63 %		

Ein Großteil der Antwortalternativen wiesen einen akzeptablen Schwierigkeitsindex zwischen 20 % und 80 % auf. Trotzdem zeigten einige Antwortalternativen einen Schwierigkeitsindex um die 20 % oder über 80 % auf. Mit diesen Antwortalternativen konnte das Messinstrument die Probanden mit hoher bzw. niedriger Merkmalsausprägung voneinander differenzieren. Im Durchschnitt ergab sich eine Itemschwierigkeit von 74,98 %, so dass die Antwortalternativen tendenziell zu leicht zu beantworten waren.

In einer Wright Map werden die Personenfähigkeiten und Itemschwierigkeiten gegenübergestellt. Auf der linken oberen Seite werden Probanden mit hohen Fähigkeiten und dementsprechend auf der linken unteren Seite die Probanden mit geringen Fähigkeiten dargestellt. Antwortalternativen mit hohen Schwierigkeiten sind auf der rechten oberen Seite aufzufinden, wohingegen Antwortalternativen mit geringen Schwierigkeiten auf der rechten unteren Seite abgebildet werden.

Die Analysen wurden mittels ConstructMap 4.6 beta durchgeführt und für die Erstellung der Wright Map wurden die Posttestdaten der Hauptstudie verwendet. Dabei mussten für die Berechnung vier Antwortalternativen aufgrund fehlender Varianz entfernt werden. Für die Voranalyse wurde die *Mean-Square-(MNSQ)-Fit*-Statistik berechnet, welche in Tabelle 14-8 ersichtlich ist. Die Infit-MNSQ-Werte sowie die t-Werte lagen bis auf wenige Ausnahmen in den akzeptablen Bereichen (4.1.1).

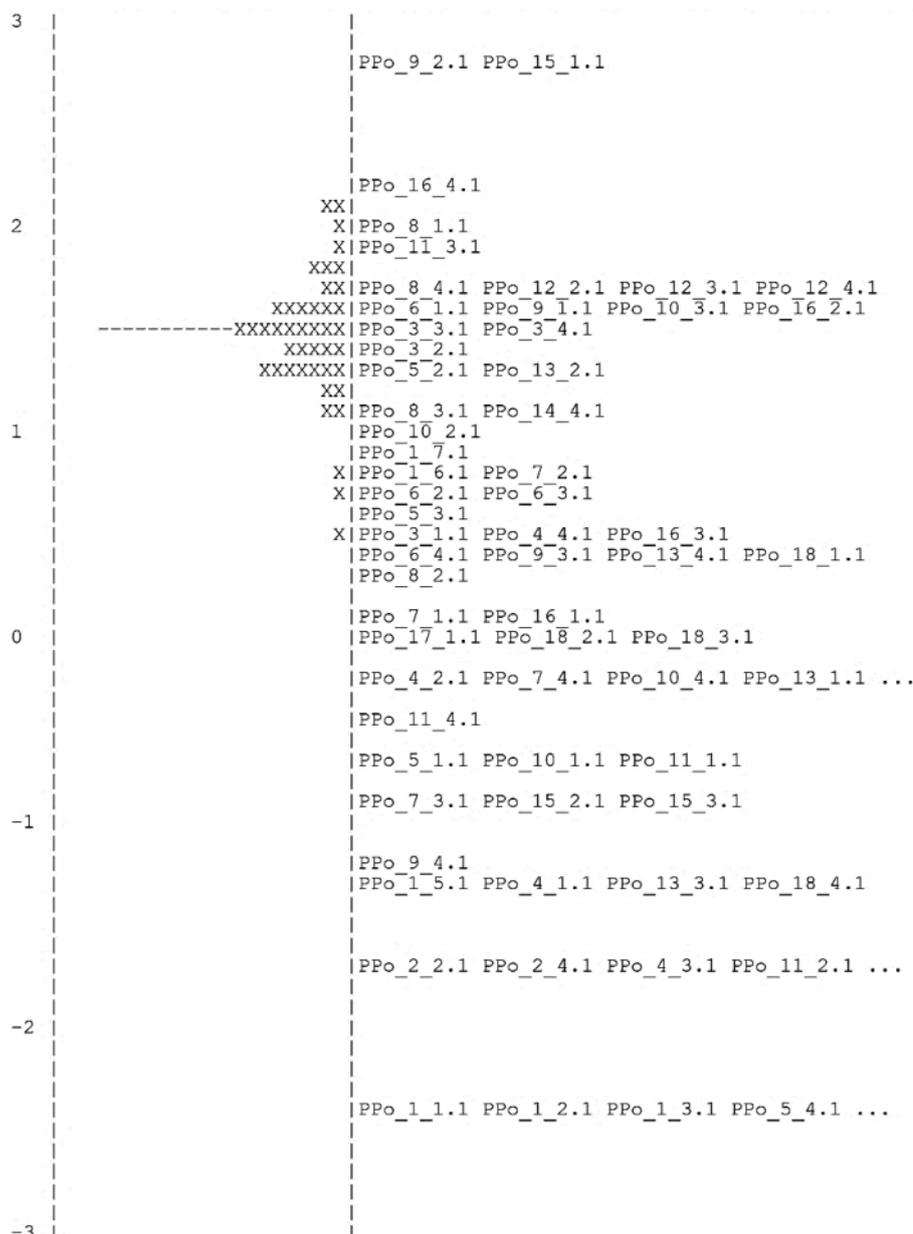


Abbildung 4-2: Wright Map der Posttest-Daten der Hauptstudie

Die Analyse der Wright Map zeigt, dass die Antwortalternativen das Konstrukt des fachdidaktischen Wissens bezüglich selbstgesteuerter Experimente in der Gesamtheit gut abbildeten. Entsprechend den Schwierigkeitsindizes in Tabelle 4-16 zeigt sich, dass das Messinstrument einige Antwortalternativen, wie z. B. PPo_9_2 oder PPo_15_1, enthielt, die einerseits nur von den leistungsstärksten Probanden korrekt beantwortet werden konnten. Andererseits beinhaltete der Fragebogen auch Antwortalternativen, wie z. B. PPo_1_1 oder PPo_1_2, die von Personen mit geringen Fähigkeiten richtig bearbeitet werden konnten. Somit bildete das Messinstrument das Fähigkeitsspektrum akzeptabel ab.

Überprüfung der Validität

Die Überprüfung der Validität des Testinstruments fand im Rahmen eines Studierenden-seminars statt, welches ebenfalls die Planungskompetenz hinsichtlich selbstgesteuerter

Experimente förderte (Seiler & Tepner, 2019, 2020). Hierzu wurde als externes Kriterium der experimentell-fachdidaktische Test von Backes et al. (2012) eingesetzt. Die Testung mit dem Messinstrument erfolgte im Prä-Post-Design, wohingegen der experimentell-fachdidaktische Test nur nach Abschluss des Seminars eingesetzt wurde. Insgesamt nahmen an der Validierungsstudie 38 Studierende teil.

Werden die Daten des Fragebogens zur experimentellen Planungskompetenz hinsichtlich der Normalverteilungsannahme mittels des Shapiro-Wilk-Tests überprüft, zeigt sich, dass sich weder die Daten des Gesamttests noch die Daten auf Basis der Antwortalternativen mit akzeptablen Trennschärfen von einer normalverteilten Grundgesamtheit signifikant unterschieden (Tabelle 4-17).

Tabelle 4-17: Validierung - Normalverteilung des Tests zur experimentellen Planungskompetenz

Test	Daten	df	Teststatistik	p	Interpretation
Shapiro-Wilk	Gesamttest	38	.957	.154	n. s.
	Antwortalternativen mit akzeptablen Trennschärfen	38	.954	.125	n. s.

Der t-Test für gepaarte Stichproben wies darauf hin, dass die Studierenden im Zuge des Seminars einen hoch signifikanten Lernzuwachs mit einer mittleren Effektstärke ($t(34) = -3.42, p = .002, d_z = .55$) erreichten. Die Daten können in Tabelle 4-18 und Abbildung 4-3 eingesehen werden.

Tabelle 4-18: Validierung - Deskriptive Statistiken und Inferenzstatistiken des Tests zur experimentellen Planungskompetenz

Deskriptive Statistik	Messzeitpunkt	n	M	SD	Min.	Max.
	Prä	38	71.13	8.71	51.43	85.71
	Post	38	74.89	7.10	60.00	85.71
Inferenzstatistik	Prä-Post-Vergleich t-Test	n	T	df	p	d _z
		38	-3.42	37	.002	.55

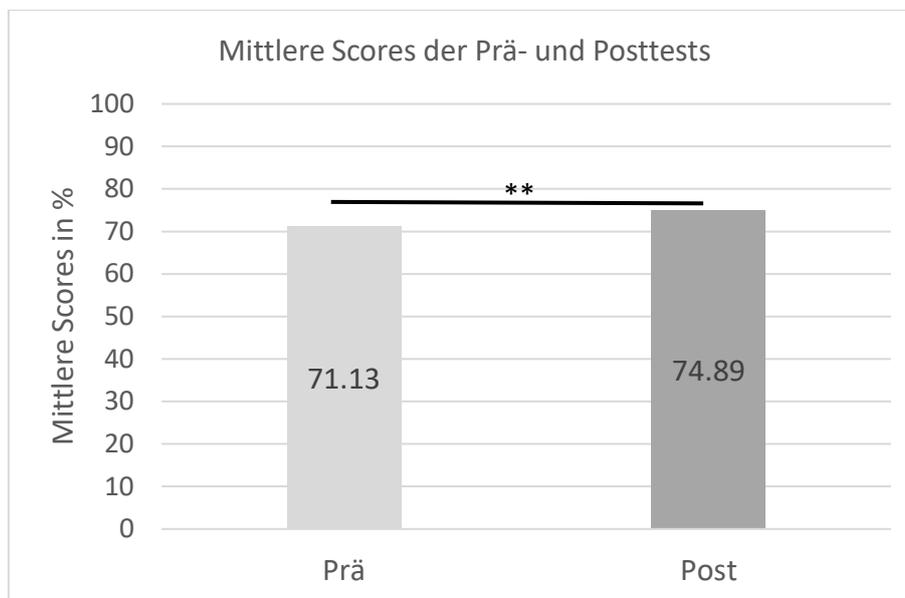


Abbildung 4-3: Validierung - Mittelwerte der Prä- und Post des Tests zur experimentellen Planungskompetenz

Mit dem Shapiro-Wilk-Test wurde wiederum die Normalverteilungsannahme der Daten des experimentell-fachdidaktischen Tests überprüft. Aus den Ergebnissen der Tabelle 4-19 kann erneut gefolgert werden, dass sich weder die Daten des Gesamttests noch die Daten auf Basis der Antwortalternativen mit akzeptablen Trennschärfen von einer normalverteilten Grundgesamtheit signifikant unterscheiden.

Tabelle 4-19: Validierung - Normalverteilung des Tests zum experimentell-fachdidaktischen Wissen

Test	Daten	df	Teststatistik	p	Interpretation
Shapiro-Wilk	Gesamttest	38	.952	.107	n. s.
	Antwortalternativen mit akzeptablen Trennschärfen	38	.952	.103	n. s.

Der experimentell-fachdidaktische Test umfasste insgesamt 111 Paarvergleiche, die ein Cronbachs Alpha von .777 aufzeigten (Tabelle 14-13). Im Zuge der Reliabilitätsanalyse wurden kongruent zum Test zur experimentellen Planungskompetenz alle Antwortalternativen entfernt, die eine Trennschärfe unter .20 aufzeigten. Für die verbleibenden 55 Antwortalternativen wurde der Wert von Cronbachs Alpha auf .882 geschätzt (Tabelle 4-20).

Tabelle 4-20: Validierung - Reliabilitätsstatistik des Tests zum experimentell-fachdidaktischen Wissen

Reliabilitätsstatistiken	
Cronbachs Alpha	Anzahl der Paarvergleiche
.882	55

Werden die Posttest-Daten des Tests zur experimentellen Planungskompetenz und die Daten des experimentell-fachdidaktischen Tests miteinander korreliert, konnte ein mittelstarker Zusammenhang, der hoch signifikant war, beobachtet werden (Tabelle 4-21).

Tabelle 4-21: Validierung - Korrelation der Daten des Tests zur experimentellen Planungskompetenz und des Tests zum experimentell-fachdidaktischen Wissen

Korrelation	r_p	p
Messinstrument zum selbstgesteuerten Experimentieren experimentell-fachdidaktischen Test	.466	.003

Das Ergebnis der Korrelation ist ein Hinweis, dass die Validität des Tests zur experimentellen Planungskompetenz erfüllt war und beide Fragebögen zwei differenzierbare, aber ähnliche Konstrukte erfassten. Die Fragen des Messinstruments zum selbstgesteuerten Experimentieren war speziell auf dieses Konstrukt zugeschnitten, wohingegen der Test nach (Backes et al., 2012) eher allgemeiner und damit breiter das experimentell-fachdidaktische Wissen erfasste.

4.1.4 Weitere Erhebungsinstrumente

Neben dem fachdidaktischen Wissenstest hinsichtlich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten wurden weitere Fragebögen im Zuge der Fortbildung eingesetzt. Eine Übersicht aller eingesetzten Messinstrumente und deren Autoren befindet sich in Tabelle 4-22 .

Tabelle 4-22: Überblick der eingesetzten Messinstrumente

Titel	Studienteil	Einsatzzeitpunkt	Bearbeitungsdauer	Autor
Fachdidaktisches Wissen hinsichtlich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten	Pilotierung I (Version I)	Prä Post	20-25 min.	Eigenentwicklung
	Pilotierung II (Überarbeitete Version II)	Prä Post		
	Hauptstudie (Überarbeitete Version II)	Prä Post Follow-Up		

Experimentell-fachdidaktisches Wissen	Validierung	Post	20-25 min.	Übernommen von Backes et al. (2012)
Zufriedenheit mit der Fortbildung	Pilotierung I Pilotierung II	Post	4 min.	Geschlossener Teil übernommen von Schmitt (2016) Offener Teil übernommen von Telser (2019)
Subjektiver Lernerfolg	Pilotierung I Pilotierung II	Post	2 min.	Übernommen von Telser (2019)
Einsatz der Fortbildungsinhalte und -materialien im Unterricht	Pilotierung I Pilotierung II	Post	3 min.	Übernommen von Telser (2019) und einige Items leicht modifiziert von Ehlert

Die Validierung des Messinstruments fand anhand des experimentell-fachdidaktischen Wissenstests nach Backes et al. (2012) im Zuge eines Studierendenseminars, das ebenfalls die Planung von selbstgesteuerten Experimenten schulte, statt (Seiler & Tepner, 2019).

Der Test nach Backes et al. (2012) wurde unverändert übernommen und beinhaltet insgesamt 17 Aufgaben im Multiple-Choice-Multiple-Select-Format sowie zwei Zuordnungsaufgaben. Kongruent zum Test zur experimentellen Planungskompetenz enthalten die Fragen jeweils verschiedene Einführungstexte, die konkrete schulspezifische Experimentiersituationen beschreiben. Die Testperson nimmt die Rolle einer erfahrenen Lehrkraft ein und soll die dargestellten Unterrichtssituationen beurteilen. Dabei sind pro Frage vier verschiedene Handlungsalternativen, die jeweils mittels einer sechsstufigen Likert-Skala bewertet werden können, gegeben. Jeweils zwei Antwortalternativen wurden miteinander verglichen und der Vergleich mit einem Punkt bewertet, wenn die Einschätzung der eines Expertenratings entsprach (Tepner & Dollny, 2014b).

Zusätzlich wurde für die Evaluation der Fortbildung durch die teilnehmenden Lehrkräfte ein Fragebogen zur Zufriedenheit mit der Fortbildung eingesetzt. Der geschlossene Teil wurde von Schmitt (2016), der offene Teil von Telser (2019) übernommen. Im Zuge der Evaluation wurden des Weiteren die Fragebögen zum subjektiven Lernerfolg sowie zum Einsatz der Fortbildungsinhalte und -materialien im Unterricht nach Telser (2019) eingesetzt. Einige Items des Fragebogens zum Einsatz der Fortbildungsinhalte und -materialien im Unterricht wurden leicht modifiziert, um dem Inhalt der eigenen Maßnahme besser zu entsprechen. Im Teilfragebogen zur Motivation wurden z. B Items, welche den zukünftigen Einsatz von Videodokumentation evaluieren sollen, ersetzt. Stattdessen wurden Items, die auf die Fortbildung zugeschnitten sind, eingefügt.

4.1.5 Stichprobenbeschreibung

Unter einer Stichprobe wird „die Teilmenge aus einer Grundgesamtheit, die unter bestimmten Gesichtspunkten (gemäß der Fragestellung) ausgewählt wurde“ (Hussy et al., 2013, S. 118), verstanden. Die Stichprobe kann als grundsätzlich repräsentativ für alle fortbildungswilligen Chemielehrkräfte in Bayern erachtet werden, da die Teilnahme freiwillig und kostenfrei war. Zur Steigerung der Repräsentativität der Stichprobe wurden die Maßnahmen an verschiedenen Standorten in Bayern in Form von schulinternen oder regionalen Fortbildungen angeboten. Des Weiteren ist die Fortbildung für Lehrkräfte der Realschulen, Gymnasien sowie Fach- und Berufsoberschulen entwickelt. Zudem ist die Maßnahme primär für Lehrkräfte, die sich in der zweiten und dritten Ausbildungsphase (2.3.1) befinden, geeignet.

Um im Zuge der Hauptstudie den t-Test für abhängige Stichproben mit einer entsprechenden Teilnehmerzahl durchführen zu können, wurde mittels G*Power 3.1.9.7 die Stichprobengröße im Vorfeld ermittelt (Bühner & Ziegler, 2017; Faul et al., 2007; Faul et al., 2009). Wurde von einer mittleren Effektstärke nach Cohen (1988) von $d_z \geq .60$ ausgegangen (Arthur et al., 2003), lag die benötigte Stichprobengröße bei 32 Personen (Abbildung 40).

In der Tabelle 4-23 sind die durchgeführten Lehrkräftefortbildungen mit ihren Teilnehmerzahlen abgebildet. Es sind nur Teilnehmende aufgeführt, von denen vollständige Datensätze aus der Prä- und Posttestungen vorliegen.

Tabelle 4-23: Fortbildungstermine und Stichprobenzusammensetzung

Phase	Datum	Veranstaltungsort	Veranstaltungsart	Teilnehmerzahl
Präpilotierung	28.03.2019	Universität Regensburg	Thementag Theorie-Praxis Horizonte – Impulse für Schulen von morgen	11 Lehrkräfte
Pilotierung I	04.07.2019	Aventinus Gymnasium, Burghausen	Schulinterne Fortbildung	5 Lehrkräfte
	23.07.2019	Konrad-Adenauer-Realschule, Roding	Regionale Fortbildung	10 Lehrkräfte
	24.09.2020	Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung, Dillingen	Fortbildungstagung für Seminarlehrkräfte im Fach Chemie an der Realschule	14 Lehrkräfte
	07.10.2019	Dominicus-von-Linprun-Gymnasium, Viechtach	Schulinterne Fortbildung	4 Lehrkräfte
Pilotierung II	21.11.2019	Georg-Hipp-Realschule, Pfaffenhofen	Regionale Fortbildung	11 Lehrkräfte

	10.12.2019	Dientzenhofer Gymnasium, Bamberg	Schulinterne Fortbildung	13 Lehrkräfte
Hauptstudie	23.01.2020	Werner-von-Siemens-Gymnasium, Regensburg	Schulinterne Fortbildung	6 Lehrkräfte
	20.02.2020	Universität Regensburg	MNU - MINT 2020 - Fortbildung	14 Lehrkräfte
	09.03.2020	Sophie-Scholl-Realschule, Weiden	Regionale Fortbildung	14 Lehrkräfte
	10.03.2020	Ludwig-Fronhofer-Realschule, Ingolstadt	Regionale Fortbildung	9 Lehrkräfte

Präpilotierung

Die Präpilotierung mit elf Teilnehmenden diente primär der Evaluation des Fortbildungskonzepts, sodass hierbei keine personenbezogenen Daten erhoben worden sind.

Pilotierung I

Für die Pilotierung I und II sowie die Hauptstudie wurden neben den anonymen Codes der Teilnehmenden, ihr Ausbildungsstand, das Zweitfach und die Schulform, in der sie vorrangig unterrichten, erfasst.

An der Pilotierung I nahmen neun Referendare, elf Lehrkräfte mit abgeschlossenem zweiten Staatsexamen sowie dreizehn Seminarlehrkräfte, die in Bayern die zweijährige Ausbildung der Referendarinnen und Referendare verantworten, teil (Abbildung 4-4). Als Zweitfach wurde vorwiegend Biologie ($n = 23$) angegeben. Des Weiteren besuchten Lehrkräfte mit dem Zweitfach Mathe ($n = 8$), Physik ($n = 1$) sowie Erdkunde ($n = 1$) die Fortbildung. Bezüglich der Schulform zeigt sich im Vergleich zu den Gymnasien ($n = 10$) ein Überhang zugunsten der Realschulen ($n = 23$).

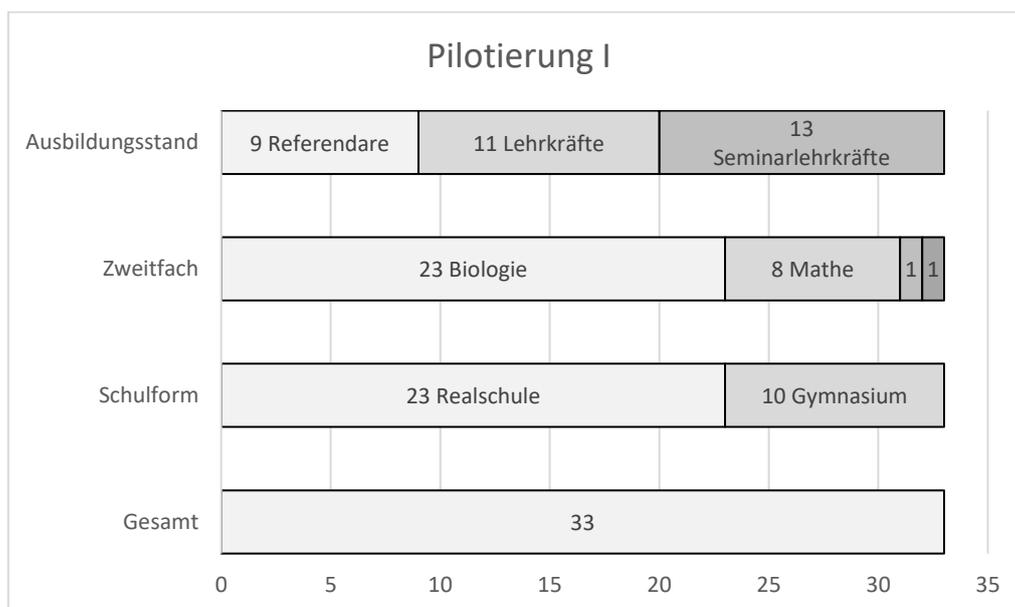


Abbildung 4-4: Pilotierung I - Stichprobenzusammensetzung

Pilotierung II

Insgesamt wurden bei der Pilotierung II die Daten von vierundzwanzig Lehrkräften erfasst, die sich bezüglich ihres Ausbildungsstands auf vierzehn Referendarinnen und Referendare, acht Lehrkräfte und zwei Seminarlehrkräfte aufteilen (Abbildung 4-5). Neben drei fehlenden Werten wurde als Zweitfach Biologie ($n = 15$), Mathe ($n = 4$) und Physik ($n = 2$) angegeben. Hinsichtlich der Schulform unterrichten von den Teilnehmenden zehn an Realschulen und vierzehn an Gymnasien.

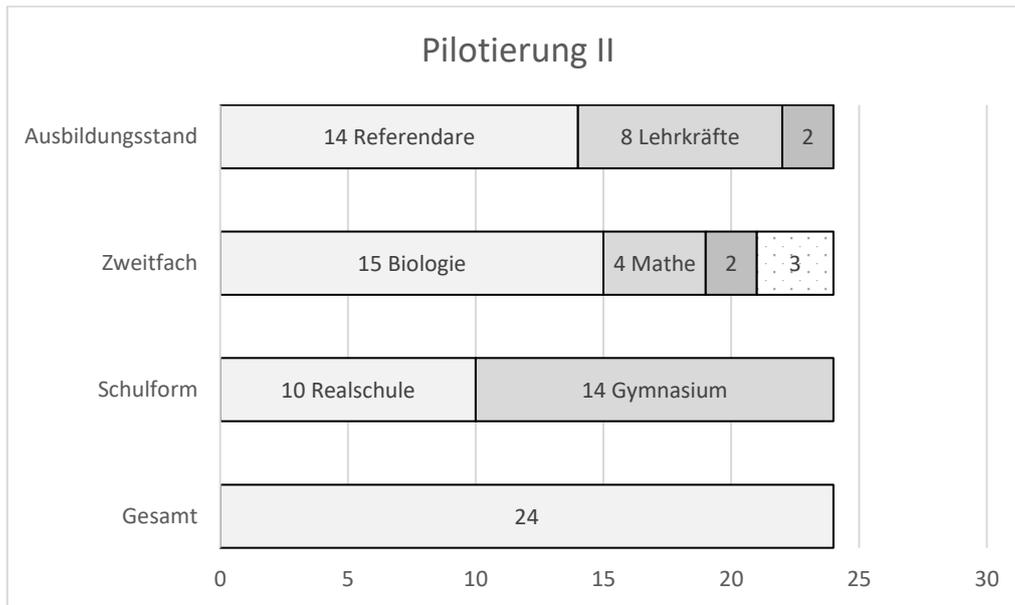


Abbildung 4-5: Pilotierung II - Stichprobensammensetzung

Hauptstudie

Von den dreiundvierzig Lehrkräften sind im Rahmen der Hauptstudie fünfzehn Referendarinnen und Referendare sowie siebenundzwanzig Lehrkräfte erfasst worden, wobei eine Angabe bezüglich des Ausbildungsstands fehlte (Abbildung 4-6). Jeweils neunzehn Lehrkräfte weisen als Zweitfach Biologie oder Mathe an, zudem unterrichten zwei Lehrkräfte Physik als Zweitfach, bei zwei Teilnehmenden fehlten hierzu die Angaben. Die Teilnehmenden verteilten sich auf Realschulen ($n = 26$), Gymnasien ($n = 15$) sowie Fach- und Berufsoberschulen ($n = 2$).

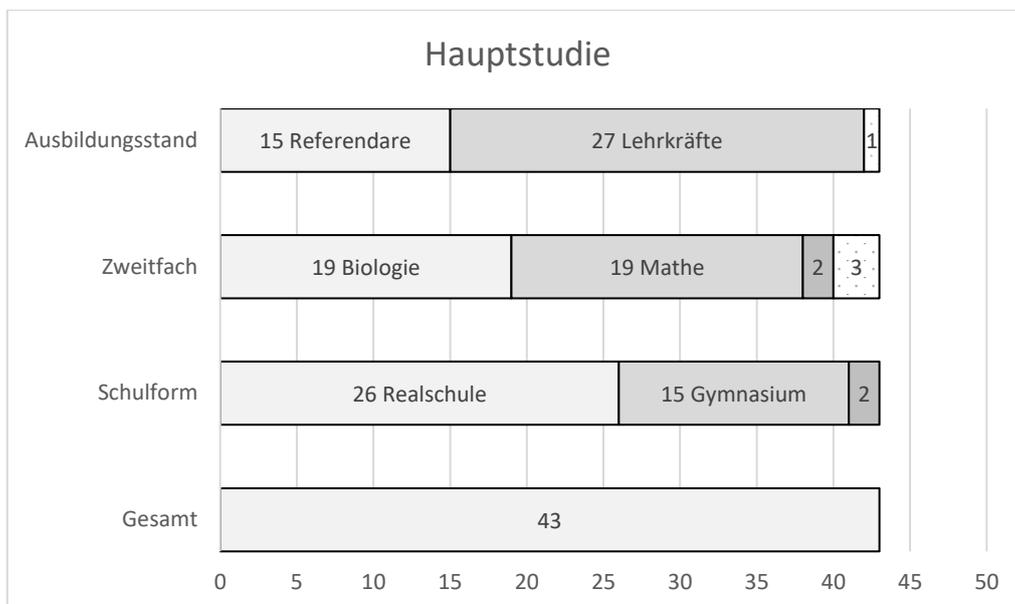


Abbildung 4-6: Hauptstudie - Stichprobenzusammensetzung

Follow-Up-Studie

Für die Follow-Up-Studie ergibt sich eine Stichprobe mit acht Referendarinnen und Referendaren sowie sieben Lehrkräften, die aus der Hauptstudie akquiriert werden konnten (Abbildung 4-7). Als Zweitfach wurden von den vierzehn Lehrkräften Biologie ($n = 6$), Mathe ($n = 8$) und Physik ($n = 1$) unterrichtet. Als Schulformen wurden Realschule ($n = 11$), Gymnasium ($n = 3$) sowie Fach- und Berufsoberschulen ($n = 1$) genannt.

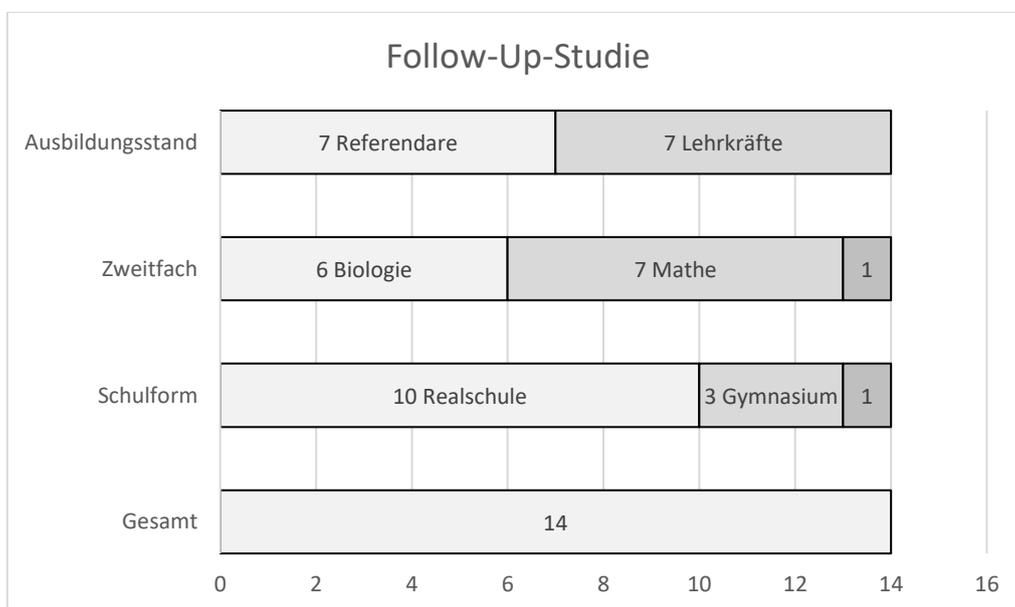


Abbildung 4-7: Follow-Up-Studie - Stichprobenzusammensetzung

4.2 Fortbildungsdesign

4.2.1 Struktur und Inhalte der Fortbildung

Aus schulorganisatorischen Gründen war die eintägige Lehrkräftefortbildung auf vier Stunden begrenzt. Ihre Struktur ist in Tabelle 4-24 dargestellt:

Tabelle 4-24: Zeitliche Abfolge der Lehrkräftefortbildung

Inhalt	Phase	Zeitlicher Umfang
1 Begrüßung	Anfang	5 min.
2 Prätest	Datenerhebung	20 min.
3 Was ist selbstgesteuertes Experimentieren?	Input	45 min.
4 Beispielexperimente zum selbstgesteuerten Experimentieren	Erprobung	60 min.
Pause		15 min.
5 Strukturierungskonzept zur Planung von selbstgesteuerten Experimenten	Input	60 min.
6 Modifizierung eines Kochbuchrezepts zu einem selbstgesteuerten Experiment	Erprobung	45 min.
7 Schulung der Reflexionskompetenz bezüglich der Planung selbstgesteuerter Experimente	Reflexion	20 min.
8 Posttest	Testung	20 min.
9 Bewertung der Fortbildung	Datenerhebung	5 min.
10 Verabschiedung	Ende	5 min.
		300 min.

Entsprechend den Kriterien für effektive Lehrkräftefortbildungen (vgl. 2.3.2) waren zum theoretischen Input interaktive Arbeitsphasen für die Teilnehmenden integriert. Die Fortbildung umfasste primär selbstgesteuerte Experimentierformen, die zum bayerischen Lehrplan konform mit hohem Alltagsbezug vermittelt wurden.

Zur Steigerung der Akzeptanz der Maßnahme wiesen die Inhalte eine wissenschaftliche bzw. empirische Fundierung auf. Der Austausch von Erfahrungen unter den Teilnehmenden sowie mit den Fortbildern wurde in mehreren Phasen ermöglicht. Die Fortbildung bot eine Gelegenheit, schulrelevante und selbstgesteuerte Experimente kennen zu lernen. Darüber hinaus erhielten die Teilnehmenden sämtliche Materialien in analoger und digitaler Form, um sie im eigenen Unterricht einsetzen zu können.

Nach der Begrüßung und dem Prätest erfolgte der erste theoretische Input zum selbstgesteuerten Experimentieren. Hierbei wurden Ziele des Experimentierens und der Wandel des Experimentiereinsatzes unter Einbezug der Bildungsstandards und der Lehrpläne aufgezeigt. Unter Bezugnahme auf das selbstgesteuerte Lernen wurden die Merkmale des

selbstgesteuerten Experimentierens erarbeitet und empirische Befunde von offenen Experimentierformen vorgestellt. Abschließend wurden mögliche Phasierungen eines Experimentierprozesses thematisiert. Danach erhielten die Teilnehmenden die Möglichkeit, sieben selbstgesteuerte Beispielerperimente praktisch zu erproben (vgl. 4.2.3 und 4.2.4). Im Anschluss wurde das Strukturierungskonzept zur Planung von selbstgesteuerten Experimenten (Ehlert & Tepner, 2020) unter Einbezug mehrerer Praxisbeispiele erklärt (vgl. 4.2.2). Um die neuen Ideen in die Praxis umzusetzen, modifizierten die Teilnehmenden unter Einbezug des Strukturierungskonzepts in Gruppenarbeit eine kochbuchartige Experimentieranleitung zu einem geöffneten Experiment. Zudem wurden die selbstgesteuerten Beispielerperimente hinsichtlich ihres Öffnungsgrads durch die Lehrkräfte anhand eines vereinfachten Ratingbogens bewertet. Zum Abschluss der Fortbildung erfolgte der Posttest und eine schriftliche Bewertung der Fortbildung.

4.2.2 Strukturierungskonzept

Im Zuge der Fortbildung wurde ein intuitives, literaturbasiertes und umfassendes Strukturierungskonzept schrittweise vorgestellt, mit dem nicht nur selbstgesteuerte Experimente grundsätzlich geplant, sondern bestehende, kochbuchartige Schulversuche zu selbstgesteuerten Experimenten modifiziert werden können (Abbildung 4-8).

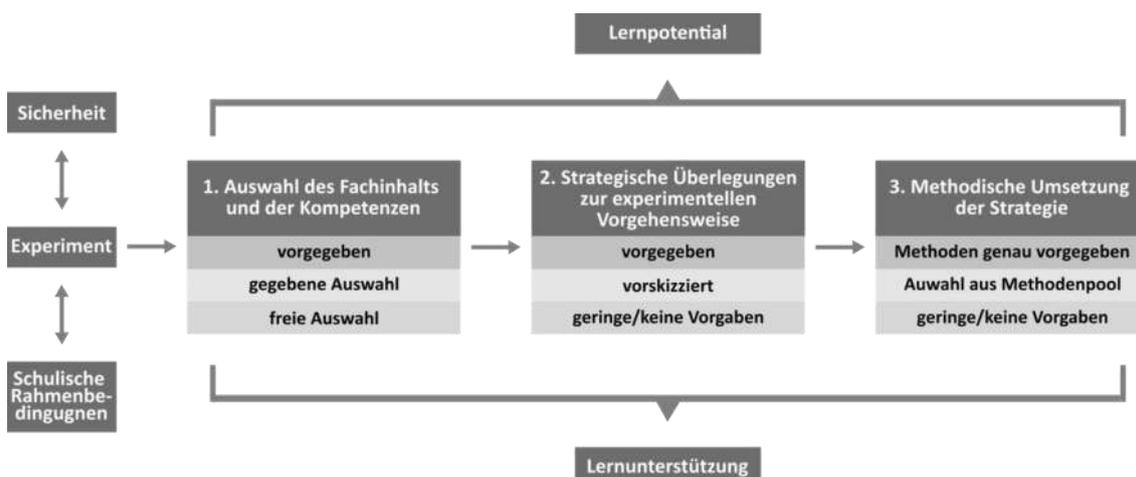


Abbildung 4-8: Strukturierungskonzept

Wird ein Experiment geplant, müssen zuerst die schulischen Rahmenbedingungen (2.2), wie die materiellen Ressourcen oder die zeitlichen Vorgaben des Unterrichts, beachtet werden. Darüber hinaus sollte im Regelunterricht die Verortung des Experiments in die aktuellen Lehrpläne erfolgen (vgl. Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst, 2016). Des Weiteren müssen bei der Planung verschiedene sicherheitsrelevante Aspekte beachtet werden (Betzler, 2019; Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung [DGUV], 2019). Dazu zählen u. a. Kenntnisse seitens der Lernenden über ein sicherheitsgerechtes Verhalten in den Chemiefachräumen sowie ein gefahrenfreies Arbeiten mit Laborgeräten und Chemikalien, wie z. B. das sachgerechte Bedienen eines Teclubrenners (Betzler, 2019). Zudem müssen Tätigkeitsbeschränkungen bezüglich

der eingesetzten Chemikalien, die beispielsweise über die Homepage DEGINTU eingesehen werden können (Lüke & Friedrich, 2019), in die Planung mit aufgenommen werden (DGUV, 2010).

Nach Berücksichtigung der genannten Aspekte kann das Experiment in verschiedenen Facetten, wie dem Fachinhalt, der Strategie und der Methode, geöffnet werden, wobei konsistent im ganzen Strukturierungskonzept drei Wahlmöglichkeiten zur Öffnung des Experiments (geschlossen, vorskizziert oder keine/geringe Vorgaben) bestehen. Trotz der farblichen Markierung der Öffnungsgrade (rot, gelb oder grün) stellt dies kein wertendes System dar, sondern bildet die auszuwählenden Handlungsoptionen ab. Ein selbstgesteuertes Experiment muss nicht in jedem Aspekt vollständig geöffnet sein, sondern kann je nach Ziel und Intention nur in bestimmten Facetten vorskizziert oder ohne Vorgaben sein kann.

Im ersten Schritt werden Öffnungsmöglichkeiten bezüglich des Fachinhalts ausgewählt (Abbildung 4-9). Die leichte Öffnung eines Experiments auf fachinhaltlicher Ebene kann durch die Auswahl von Experimenten seitens der Lernenden im Zuge einer Stationenarbeit realisiert werden. Werden bei einer Inhaltsstoffanalyse eines Sportgetränks die Glucose-, Calcium-Ionen- und Magnesium-Ionen-Nachweise als Stationen angeboten, können die Schülerinnen und Schüler im Sinne einer leichten Öffnung des Fachinhalts aus diesen ein Experiment zur Bearbeitung frei wählen. Wiederum kann eine starke Öffnung des Fachinhalts durch eine schülerzentrierte Auswahl eines Experiments zu einem bestimmten Thema im Rahmen einer Projektarbeit über mehrere Unterrichtseinheiten erfolgen.



Abbildung 4-9: Handlungsoptionen zur Öffnung des Fachinhalts

Nach der Auswahl des fachinhaltlichen Öffnungsgrads bezüglich des Fachinhalts werden kurze strategische Vorüberlegungen zu einer möglichen experimentellen Vorgehensweise getroffen (Abbildung 4-10). Dies impliziert die Festlegung der Öffnungsgrade (2.4.3) für die jeweiligen Phasen des selbstgesteuerten Experiments.

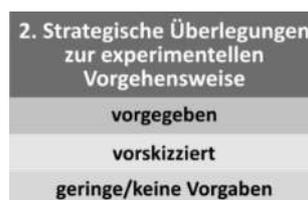


Abbildung 4-10: Strategische Vorüberlegungen

Dabei müssen und sollen nicht alle Phasen des Experiments den gleichen Öffnungsgrad erzielen. Je nach Zielsetzung des Unterrichts sollen Schwerpunkte auf einzelne Experimentierphasen gesetzt werden können (vgl. Abbildung 4-11).



Abbildung 4-11: Mögliche Festlegung der strategischen Entscheidung

Steht beispielsweise bei der Festlegung der strategischen Entscheidung das Formulieren von Hypothesen im Vordergrund, so wird diese Phase geöffnet, während andere Phasen z. B. aus zeitlichen Gründen eher vorskizziert oder vorgegeben sein können.

Basierend auf den kurzen strategischen Vorüberlegungen für jede Phase des Experiments, werden im Anschluss konkrete methodische Umsetzungsmöglichkeiten ausgewählt (Abbildung 4-12).

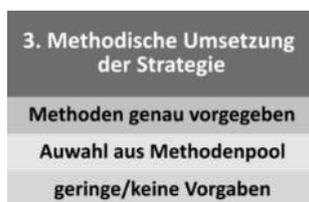


Abbildung 4-12: Methodische Umsetzung der strategischen Vorüberlegungen

Eine Möglichkeit zur Öffnung der Fragestellung stellt die Vorgabe von Satzbausteinen dar, mit denen die Schülerinnen und Schüler eine Fragestellung zu einem bestimmten Kontext bilden. Soll hingegen die Hypothesenbildung leicht geöffnet werden, kann den Lernenden eine Liste mit Hypothesen, aus denen sie auf Grundlage ihres Vorwissens eine auswählen müssen, bereitgestellt werden. Wird eine Hypothese eigenständig von den Lernenden formuliert, weist das Experiment in dieser Phase keine Vorgaben auf.

Wird das Experimente in der Planung hinsichtlich der Variablenkontrollstrategie geringfügig geöffnet, so kann für die Schülerinnen und Schüler eine Auswahltable mit konstanten und zu manipulierenden Variablen erstellt werden. Soll der Öffnungsgrad in diesem Aspekt noch weiter gesteigert werden, kann entweder ein Hinweis zur Beachtung der Variablenkontrolle oder sogar kein Hinweis erfolgen.

Können die Lernenden im Zuge des Versuchsaufbaus auf teilweise vorskizzierte Zeichnungen zurückgreifen oder erhalten sie Auswahlmöglichkeiten bei der Anfertigung der Versuchsskizzen, kann von einem mittleren Öffnungsgrad gesprochen werden. Zudem kann das Experiment über die Auswahlmöglichkeit hinsichtlich der Laborgeräte geöffnet werden. Greifen die Lernenden in der Phase der Versuchsplanung auf einen vorselektierten Laborgerätepool zurück, ist diese Phase vorskizziert. Wird jedoch ein Laborgerätepool mit nicht zielführenden Laborgeräten eingesetzt, kann von einem hohem Öffnungsgrad gesprochen werden. Entsprechend kann mit der Bereitstellung der zu verwendenden Chemikalien verfahren werden, wobei auf sicherheitsrelevante Aspekte geachtet werden muss.

In der Beobachtungsphase kann das Experiment durch die Auswahlmöglichkeiten bezüglich der Aufnahmeform der Beobachtung ebenso geöffnet werden. Hierbei können die Schülerinnen und Schüler zwischen digitalen Varianten (z. B. Slider-Fotos) oder Analogen (z. B. das schriftliche Anfertigen einer Tabelle) entscheiden. Eine vorskizzierte Form der Auswertung stellt die Bereitstellung von Auswertungskarten, die sowohl Tipps als auch Musterlösungen zur Auswahl enthalten, dar.

Liegt die Festigung des Wissens hinsichtlich der möglichen Schritte eines Experimentierprozesses im Fokus, so kann den Schülerinnen und Schülern eine Liste oder ein Puzzle mit den möglichen einzelnen Experimentierschritten zur Verfügung gestellt werden. Vor der praktischen Durchführung muss die Experimentierabfolge mit Hilfe dieser Materialien durch die Schülerinnen und Schüler erst festgelegt werden. Zudem besteht die Möglichkeit, über alle Experimentierphasen hinweg hinsichtlich der Lernmaterialien zu öffnen. Wird der Zugriff auf internetbasierte Inhalte bei bestimmten Phasen des Experiments beschränkt, kann von einem mittleren Öffnungsrad ausgegangen werden.

Zur Berücksichtigung der Heterogenität in Lerngruppen sollten Differenzierungsmaßnahmen (2.4.4.5), z. B. in Form von Hilfekarten oder Feedback, für die Schülerinnen und Schüler angeboten werden. Zudem müssen im Zuge der Planung die experimentelle Kompetenz (2.4.4.6) und das fachliche Vorwissen der Schülerinnen und Schüler (2.2) berücksichtigt werden.

Eine mögliche Überprüfung, ob ein Experiment in der Gesamtheit geöffnet ist, kann über die Anzahl der Lösungswege und Lösungen erfolgen (Fischer & Draxler, 2007; Priemer, 2011). Bietet ein geplantes Experiment aufgrund der Konzeption explizit nur einen Lösungsweg und eine Lösung an, ist dieses im Sinne des selbstgesteuerten Experimentierens tendenziell geschlossen. Dieser Fall wird beispielsweise durch den Nachweis von Stärke in Lebensmitteln mittels der qualitativen Iodprobe mit Hilfe einer Anleitung abgebildet, da durch das imitatorische Abarbeiten der Versuchsanleitung nur ein bestimmter Handlungsweg und eine korrekte Lösung auftreten. Werden jedoch Kältepacks mit beliebigen Materialien ohne detaillierte Anleitung nachgebaut, sind mehrere Lösungswege und Lösungen denkbar, sodass das Experiment geöffnet ist.

4.2.3 Design und inhaltliche Aspekte der eingesetzten Materialien

In der Fortbildung werden selbstgesteuerte Beispielperimente vorgestellt (Tabelle 4-25), die sowohl praktisch von den Teilnehmenden durchgeführt als auch theoretisch hinsichtlich ihres Öffnungsgrads besprochen werden. Die angebotenen selbstgesteuerten Experimente weisen dabei eine Lehrplankonformität für Realschule und Gymnasium in Bayern auf.

Tabelle 4-25: Selbstgesteuerte Beispielexperimente mit Lehrplanverortung

Experiment		Lehrplanverortung im LehrplanPlus	
		Realschule	Gymnasium
„Unsichtbaren Gasen auf der Spur“		C 8.2 _(I) – Stoffe und ihre Eigenschaften	C 8.2 _(NTG) – Stoffe und ihre Eigenschaften
„Coolpacks“		C 9.3 _(I) – Donator-Akzeptor-Konzept	C 9.5 _(NTG) – Wechselwirkungskonzept
„Faszination der Salze“	„Mehrschichtiger Cocktail“	C 8.4 _(I) – Aufbau der Materie	C 8.2 _(NTG) – Stoffe und ihre Eigenschaften
	„Leiten Salzen den Strom?“	C 8.3 _(I) – Aufbau der Materie	C 8.4 _(NTG) – Chemische Verbindungen und ihre Eigenschaften
	„Was steckt in meinem Sportgetränk?“	C 8.1 _(I) – Wie Chemiker denken und arbeiten	
	„Die Farben der Flamme“	C 8.5 _(I) – Atombau und Periodensystem der Elemente	
„Bunten Jelly Bellys“		C 9.5 _(I) – Donator-Akzeptor-Konzept bei Protonenübergängen I	C 10.2 _(NTG) – Donator-Akzeptor-Konzept und Reversibilität chemischer Reaktionen bei Protonenübergängen

Die selbstgesteuerten Beispielexperimente sind primär als Anwendungen im Microscale-Maßstab konzipiert, sodass die benötigten Labormaterialien sowie Chemikalien platzsparend in Experimentierboxen aufbewahrt werden. Die Inhalte der einzelnen Experimentierboxen der Hauptstudie sind in Tabelle 4-26 abgebildet, wobei eine ausführliche Materialliste im Anhang ist (14.1.2). Hierbei erweist sich das Microscale-Format durch die geringen Anschaffungskosten, die Vermeidung von entsorgungspflichtigen Abfällen, die erhöhte Sicherheit aufgrund der geringen Mengen sowie den geringen Platzbedarf als vorteilhaft gegenüber herkömmlichen Experimenten (Abdullah et al., 2009; Bradley, 1999).

Tabelle 4-26: Experimentierkoffer der Hauptstudie

„Unsichtbaren Gasen auf der Spur“



„Bunten Jelly Bellys“



„Coolpacks“



„Faszination der Salze“

Inhaltlich wird bei dem Experiment „Unsichtbaren Gasen auf der Spur“ das Gas identifiziert, das beim Auflösen einer Brausetablette in Wasser entsteht. In einem weiteren Experiment werden Salze auf ihre Verwendungsmöglichkeiten in einem Coolpack überprüft, wobei anschließend mit Hilfe von Haushaltsmitteln ein Coolpack gebaut wird. Mit dem Experimentierkoffer zu der Thematik der Salze kann die elektrische Leitfähigkeit von Salzen überprüft sowie die ionischen Inhaltsstoffe eines Sportgetränks mittels Kationen- und Anionennachweisen identifiziert werden. Zudem kann ein mehrschichtiger Cocktail durch angefärbte Natriumchlorid-Lösungen, die unterschiedliche Dichten aufweisen, hergestellt und die Flammenfärbungen von Metallsalzen aufgezeigt werden. Des Weiteren thematisiert ein Experiment die Farbstoffanalyse bei Süßigkeiten mit Hilfe von einfachen Säure-Base- sowie Redoxreaktionen.

Ein möglicher Erkenntnisgewinnungsweg bildet dabei das Grundgerüst der Arbeitsblätter. Dieser beginnt mit einer kontextorientierten Fragestellung sowie Hypothesenbildung und wird durch die Planung sowie Durchführung des Experiments weitergeführt. Den Abschluss bilden die Aufgaben für das Laborjournal, welche die Beobachtung und Auswertung beinhalten. Somit ist die klare Strukturierung, die einen wesentlichen Prädiktor für lernwirksamen Unterricht sowie Unterrichtsmaterialien darstellt (Rakoczy et al., 2010; Seidel & Shavelson, 2007), umgesetzt. Verstärkt wird dies durch eine einheitliche und übersichtliche Gliederung der Arbeitsblätter (Abbildung 4-13). Ergänzend werden Orientierungshilfen in Form von prägnanten Symbolen zu den wichtigsten Punkten des Experimentierprozesses gegeben.

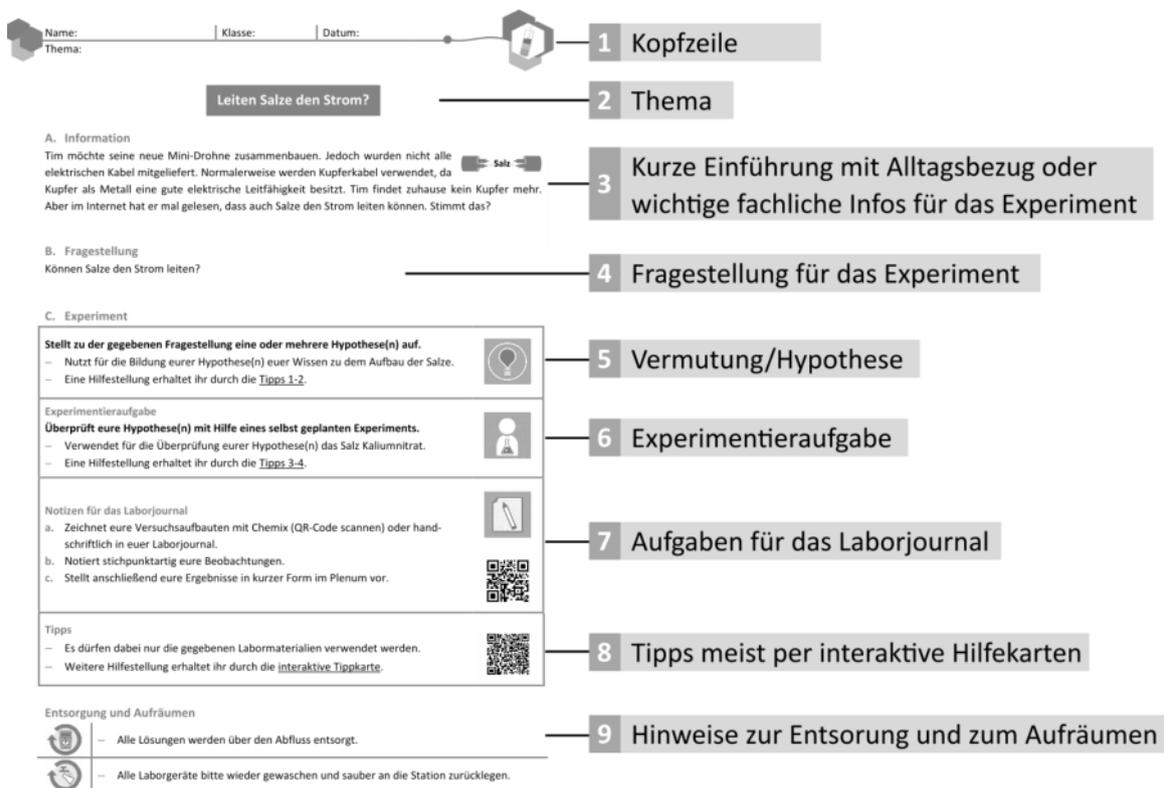


Abbildung 4-13: Einheitliche Struktur der Arbeitsblätter

Einerseits wird auf eine klare und operationalisierte Formulierung der Arbeitsaufträge geachtet, andererseits sind die Einführungs- bzw. Informationstexte auf die wesentliche Aspekte, die für die Aufgabenbearbeitung notwendig sind, komprimiert (Lipowsky, 2007; H. Meyer, 2018; Stäudel, 2007). Um für die Einführungs- bzw. Informationstexte eine adressatengerechte Sprache, z. B. in Bezug auf Satzlänge und Satzbau, zu verwenden, wurden diese mit Hilfe des Regensburger Analysetools für Texte (J. Wild & Schilcher, 2019), das zur Überprüfung der Lesbarkeitsindizes und Lesezeit eingesetzt werden kann, getestet. Der rote Faden, der die inhaltliche Kohärenz der Konzeptionen darstellt (Brophy, 2008; H. Meyer, 2018), wird nicht nur durch den zuvor genannten Einsatz des Erkenntnisprozesses als Grundgerüst, sondern u. a. durch die Aufforderung zur Falsifizierung der aufgestellten Hypothesen zum Ende der Arbeitsphase sichergestellt. Als Unterstützungsmaßnahmen zur individuellen Förderung der Schülerinnen und Schüler (Dumont, 2016; Trautmann & Wischer, 2008) werden im Rahmen der Fortbildung zumeist Tippkarten für die Beispieleexperimente eingesetzt. Dabei weisen diese ein einheitliches Design auf (Abbildung 4-14). Die Tipps werden in Text-, Abbildungs- oder Videoformaten angeboten. Nach dem Scannen des QR-Codes auf dem zugehörigen Arbeitsblatt können die angebotenen Tippkarten ohne Anmeldung abgerufen werden. Die Tippkarten sind bei einigen Experimentieraufgaben für verschiedene Phasen eines möglichen Experimentierprozesses unterteilt.



Abbildung 4-14: Einheitliche Struktur der Tippkarten

Die Tippkarten sind in Anlehnung an die gestuften Lernhilfen konzipiert (2.4.4.5), sodass die Tipps mit aufsteigender Nummerierung immer konkreter hinsichtlich der Bearbeitung der Aufgabenstellung werden. Der finale Tipp ist zumeist eine mögliche Lösungsvariante. Der gestaffelte Aufbau der Tippkarten wird am Beispiel bei der experimentellen Überprüfung der elektrischen Leitfähigkeit von Salzen erläutert. Hierbei beziehen sich die ersten beiden Tipps auf die Hypothesenbildung und die restlichen Tipps auf die Experimentplanung bzw. -durchführung. Der erste Tipp soll das Vorwissen der Lernenden aktivieren, indem die Frage gestellt wird, in welchen Aggregatzuständen oder welcher Form Salze vorliegen können. Anschließend wird als zweiter Tipp ein direkter Informationsinput gegeben, bei dem aufgezeigt wird, dass Salze einerseits in gelöster Form im Lösungsmittel Wasser, andererseits in den Aggregatzuständen fest, flüssig und gasförmig vorliegen können. Im dritten Tipp wird für die Planung des Experiments ein Hinweis zur Verwendung eines elektrischen Leitfähigkeitsmessgeräts, das für die Durchführung essentiell ist, gegeben. Abschließend wird im letzten Tipp eine Lösungsvariante aufgezeigt, um sowohl die eigene Lösung mit der Musterlösung abzugleichen als auch leistungsschwächeren Schülerinnen und Schüler eine Lösungsmöglichkeit darzulegen.

4.2.4 Sachanalyse

Farbstoffchemie der Jelly BellysCurcumin

Laut Kristallstrukturanalysen liegt Curcumin, 1,7-Bis-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-1,6-heptadien-3,5-dion, primär in der Keto-Enol-Form vor, jedoch wird auch das β -Diketon-Tautomer beschrieben (Abbildung 4-15), sodass von mindestens drei möglichen Strukturen ausgegangen werden kann (Payton et al., 2007).

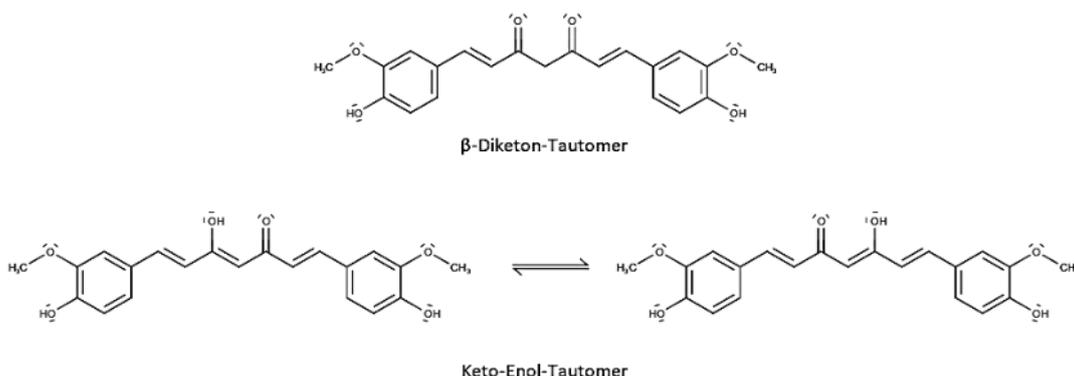
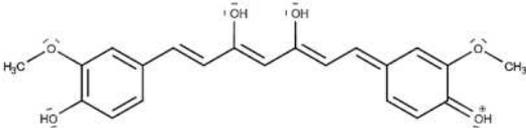
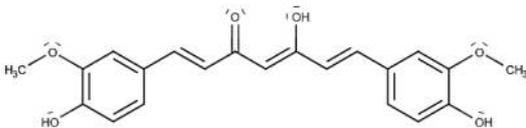
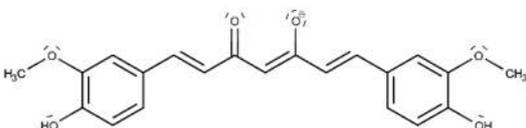
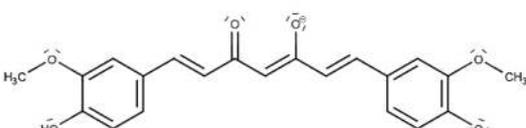
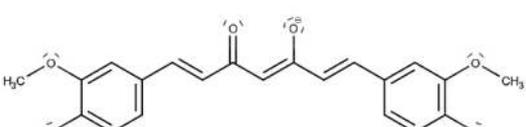


Abbildung 4-15: Mögliche Strukturen des Curcumins

Curcumin lässt sich aus dem Rhizom der Pflanze *Cucurma longa* gewinnen und wird als Gewürz sowie als Farbstoff in Kosmetik-, Textil- und Lebensmittelprodukten unter der Nummer E100 verwendet (Aggarwal et al., 2007). Die Farbigkeit des Curcumins wird durch die beiden symmetrisch angeordneten Carbonyl-Gruppen und die konjugierten Doppelbindungen verursacht (Lee & Choung, 2011; Milobedzka et al., 1910). Zudem weist Curcumin eine pH-Sensitivität auf, sodass der Farbstoff als pH-Indikator verwendet werden kann (Bernabé-Pineda et al., 2004). Eine Auflistung der Dissoziation von Curcumin in wässrigen Lösungen in Abhängigkeit vom pH-Wert wird adaptiert nach Tønnesen und Karlsen (1985) und Esatbeyoglu et al. (2012) in der Tabelle 4-27 aufgezeigt:

Tabelle 4-27: Dissoziation von Curcumin in wässriger Lösung

Struktur	Kurzformel	pH-Bereich	Farbe
	H ₄ A ⁺	pH < 1	rot
	H ₃ A	pH = 1-7	gelb
	H ₂ A ⁻	pH > 7.5	rot-orange
	HA ²⁻		rot
	A ³⁻		rot

Betanin

Betanin, (1E,2S)-1-{(2E)-2-[(2S)-2,6-Dicarboxy-2,3-dihydro-4(1H)-pyridinyliden]ethyliden}-5-(β-D-glucopyranosyloxy)-6-hydroxy-2,3-dihydro-1H-indolium-2-carboxylat (Abbildung 4-16), wird in der Lebensmittelindustrie als wasserlöslicher Farbstoff (E162) verwendet und kann aus der Pflanze *Beta vulgaris* gewonnen werden (Ciriminna et al., 2018). Die Farbigkeit von Betanin wird durch die drei konjugierten Doppelbindungen verursacht (Esatbeyoglu et al., 2015).

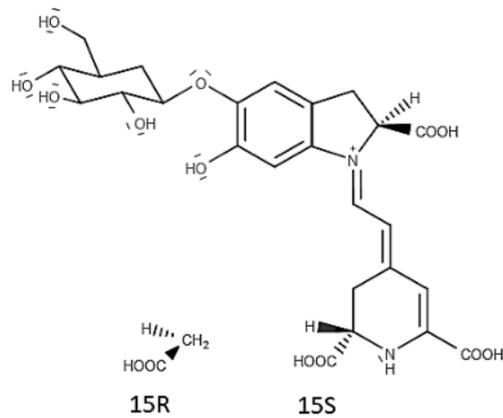


Abbildung 4-16: Struktur von Betanin

Im basischen Milieu wird Betanin unter Bruch der glycosidischen Bindung zu Glucose und Betanidin gespalten (Pugh, 2018). Bei steigendem pH-Wert wird das Betanidin weiter zur Betalaminsäure und dem cyclo-Dopa 5-O-glucosid (Harmer, 1980) hydrolysiert (Abbildung 4-17), sodass ein Farbumschlag zu gelbbraun beobachtbar ist (Hendry & Houghton, 1996; Pugh, 2018).

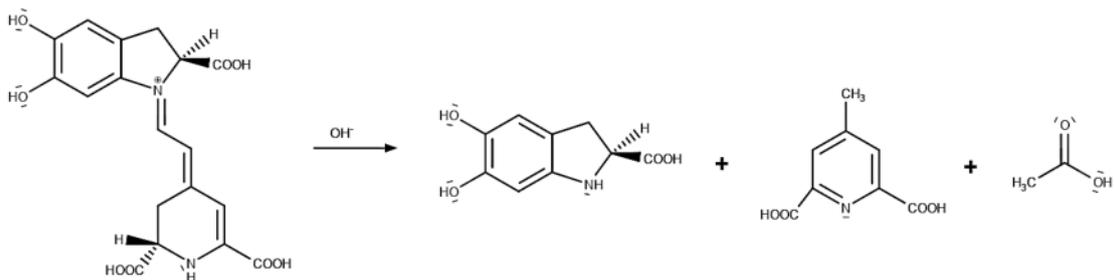
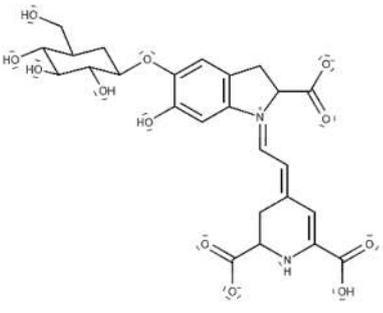
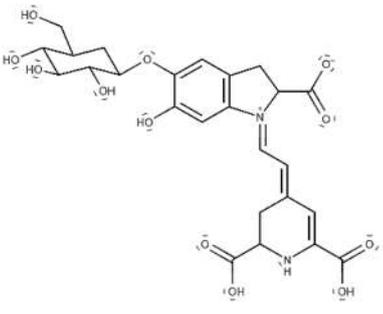
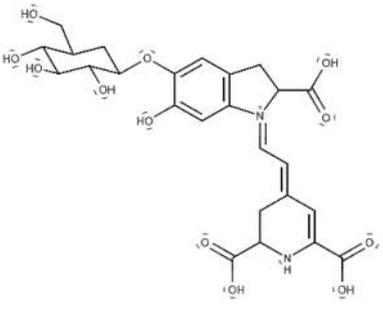


Abbildung 4-17: Abbau von Betanidin im stark alkalischen Milieu

Die Dissoziation des Betanin-Moleküls im sauren Milieu wird nach Wyler (1969) sowie Hendry und Houghton (1996) in der Tabelle 4-28 aufgezeigt:

Tabelle 4-28: Dissoziation des Betanin-Moleküls im sauren Milieu

Struktur	Kurzformel	pH-Bereich	Farbe
	Bis-Anion	pH = 3.5 - 7	rot

	Mono-Anion	pH = 3.5	rot
	Zwitterion	pH = 2	violett
	Kation	pH < 2	violett

Anthocyane

Die wasserlöslichen Anthocyane sind Pflanzenpigmente, die Bestandteil vieler Pflanzengewebe sind und die blaue bis rote Färbung von Blüten, Früchten und Blättern von höheren Pflanzen bedingen (Weiler & Nover, 2008). Als Glycoside der Anthocyanidine (Heldt & Piechulla, 2015) weisen die Anthocyane im Gegensatz zu anderen Flavonoiden, denen die Anthocyane zugeordnet sind, drei konjugierte Doppelbindungen im sauerstoffhaltigen C-Ring auf (Ebermann & Elmadfa, 2011). Das Grundgerüst bildet das Flavylium-Kation (Mazza & Brouillard, 1987), das aufgrund der Fähigkeit zur Ausbildung von Resonanzstrukturen die hohe Intensität der Farben verursacht (Wrolstad et al., 2005). Im Folgenden werden die Strukturen von gängigen Anthocyanen nach Yoshida et al. (2009) in Abbildung 4-18 und Tabelle 4-29 aufgezeigt:

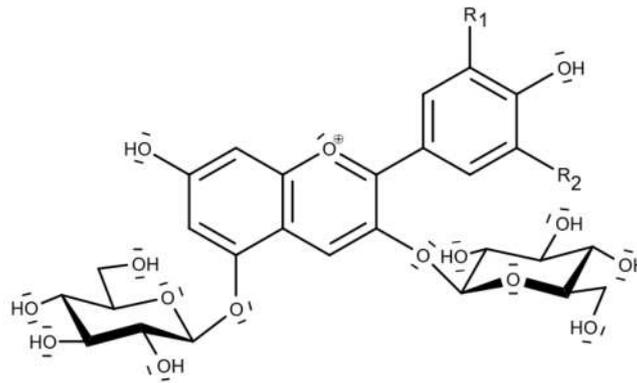


Abbildung 4-18: Gemeinsame Struktur von Anthocyanen

Tabelle 4-29: Gängige Anthocyane

R1	R2	Anthocyan
OH	H	Cyanin
OCH ₃	H	Peonin
OH	OH	Delphin
OCH ₃	OH	Petunin

Die Anthocyane sind sehr sensitiv für pH-Wert-Änderungen und zeigen dabei ein breites Farbspektrum (Castañeda-Ovando et al., 2009). Aufgrund dieser Eigenschaft werden sie häufig als Farbstoff (E163) in der Lebensmittelindustrie verwendet (Khoo et al., 2017; Stintzing & Carle, 2004). Im Folgenden werden die möglichen Strukturen von Anthocyan-Derivaten in Abhängigkeit vom pH-Wert abgeändert nach Março et al. (2011) dargestellt (Abbildung 4-19):

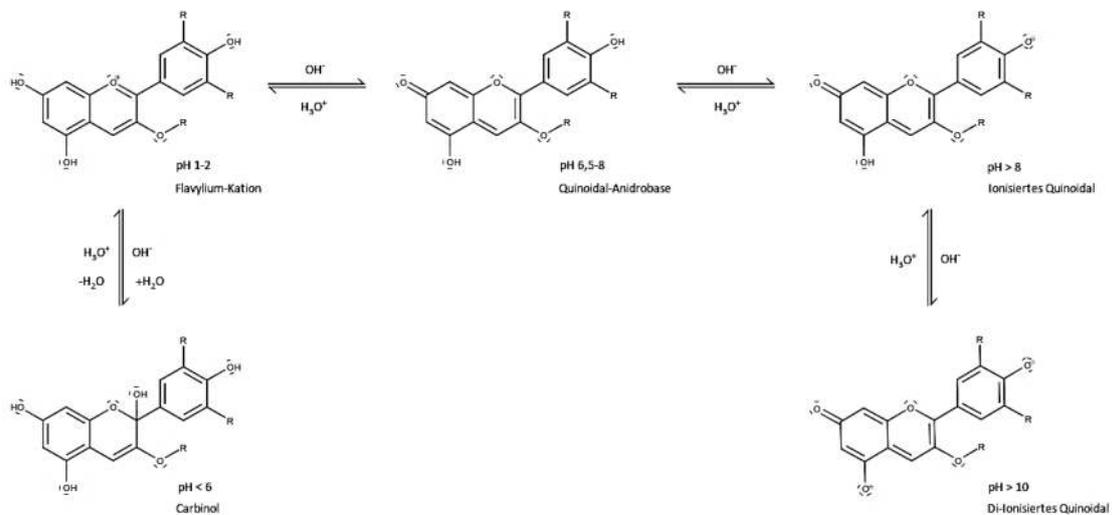


Abbildung 4-19: Mögliche Strukturen von Anthocyan-Derivaten in Abhängigkeit vom pH-Wert

Die Substituenten an den C-Ringen nehmen Einfluss auf das Säure-Base-Verhalten der Anthocyane (Fleischhut et al., 2006; Zhang et al., 2014). Im Rahmen des wissenschaftlichen Diskurses können noch weitere mögliche Strukturen in Abhängigkeit vom pH-Wert aufgeführt werden (Castañeda-Ovando et al., 2009; Março et al., 2011). Des Weiteren besitzen die Anthocyane eine antioxidative Wirkung (Kähkönen & Heinonen, 2003) und deren Lösungen werden durch Wasserstoffperoxid entfärbt (Bi et al., 2014). Zudem bilden Anthocyane bei höheren pH-Werten in Gegenwart von Aluminium(III)- oder Eisen(III)-Kationen blaue bis violette Komplexe (Oyama et al., 2015), deren Formel am Beispiel des Aluminium(III)-Kations in Abbildung 4-20 adaptiert nach Belitz et al. (2008) dargestellt ist:

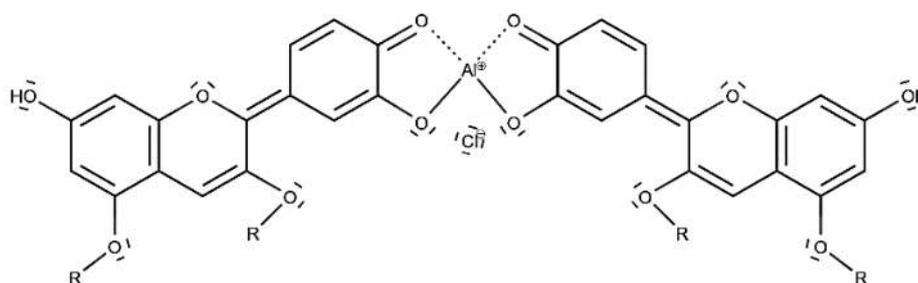


Abbildung 4-20: Komplexbildung der Anthocyane mit Aluminium(III)-Kationen

Nachweis ausgewählter Inhaltsstoffe eines Elektrolytgetränks

Nachweis von Eisen(II)-Kationen

Werden gleiche Molverhältnisse eingesetzt, lassen sich mit einer Kaliumhexacyanidoferrat(III)-Lösung (rotes Blutlaugensalz) die Eisen(II)-Kationen unter Bildung des Berliner Blau (Abbildung 4-21) nachweisen (Holleman et al., 2017b; Ludi, 1988).

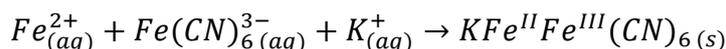


Abbildung 4-21: Reaktionsgleichung für die Bildung von Berliner Blau

Die intensive Farbe des Berliner Blau lässt sich aus der Anwesenheit des Eisen-Ions in zwei unterschiedlichen Oxidationsstufen, was zu einem Elektronentransfer in der Verbindung führt (Robin, 1962), begründen (Holleman et al., 2017b). Die kooperative Metall-Metall-Wechselwirkung in dem Charge-Transfer-Komplex lässt sich der Klasse II zuordnen, da einerseits noch lokalisierbare Oxidationsstufen vorzufinden sind und andererseits für den Elektronentransfer nur eine relativ kleine Energiebarriere überwunden werden muss (Janiak et al.; Ludi, 1988).

Nachweis von Calcium-Kationen

Calcium-Kationen können in schwach essigsaurer oder ammoniakalischer Lösung unter Zugabe einer Ammoniumoxalat-Lösung nachgewiesen werden, wobei das Calciumoxalat (Abbildung 4-22) als kristalliner, weißer Niederschlag ausfällt (Hofmann & Jander, 2011).

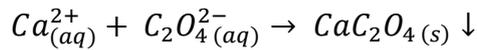


Abbildung 4-22: Reaktionsgleichung für den Nachweis von Calcium-Kationen

Zu beachten ist, dass in stark sauren Lösungen das Calciumoxalat löslich ist und die Anwesenheit von Barium- oder Strontium-Kationen die Nachweisreaktion stören kann (Schweda, 2016).

Nachweis von Magnesium-Kationen

Durch Zugabe einer alkalischen Thiazolgelb-Lösung (Titangelb-Lösung) lassen sich Magnesium-Kationen in wässrigen Lösungen unter Bildung eines roten Niederschlags nachweisen (Hilt & Rinze, 2015). Dabei kann in Anlehnung an Natkaniec et al. (2018) folgender möglicher Komplex entstehen (Abbildung 4-23):

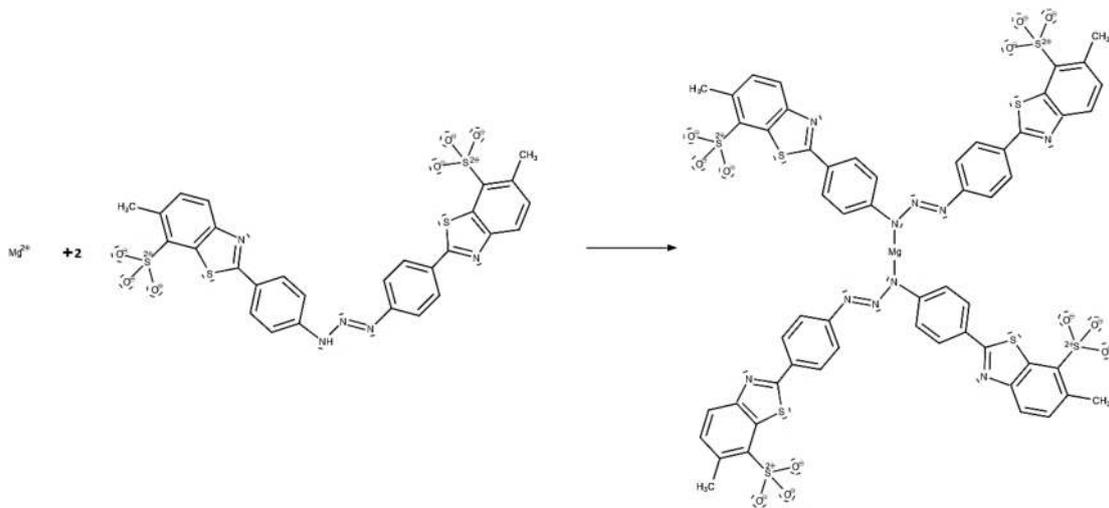


Abbildung 4-23: Komplexbildung bei dem Nachweis von Magnesium-Kation

Das Vorliegen von Nickel-, Zink-, Mangan- und Kobalt-Kationen kann den Nachweis der Magnesium(II)-Kationen erschweren (Schweda, 2016).

Nachweis von Chlorid-Anionen

Das Vorliegen von Chlorid-Anionen in wässrigen Lösungen kann durch die Zugabe einer Silbernitrat-Lösung erfolgen (Schweda, 2016). Hierbei bildet sich Silberchlorid (Abbildung 4-24) in Form eines weißen, käsigen Niederschlags, der sich durch Zutropfen einer verdünnten oder konzentrierten Salpetersäure-Lösung nicht auflösen lässt (Jander et al., 2006).

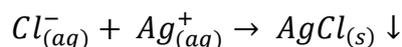


Abbildung 4-24: Reaktionsgleichung für den Nachweis von Chlorid-Anionen

Dieser Nachweis mit einer Silbernitrat-Lösung weist eine recht hohe und für die Schule ausreichende Spezifität auf, da Bromid- oder Iodid-Anionen schwerlösliche, aber leicht anders farbige Niederschläge mit Silbernitrat bilden (Jander et al., 2006). Zur klaren Un-

terscheidung kann der Silberchlorid-Niederschlag durch Zugabe einer verdünnten Ammoniaklösung unter Bildung des Diamminsilber(I)-Komplexes wieder aufgelöst werden (Schweda, 2016). Der Silberbromid-Niederschlag löst sich im Gegensatz zum Silberchlorid-Niederschlag nur bei der Verwendung einer konzentrierten Ammoniak-Lösung, wohingegen der Silberiodid-Niederschlag auch bei Zugabe einer konzentrierten Ammoniak-Lösung stabil ist (Binnewies, 2016).

Nachweis von Sulfat-Anionen

Wird zu einer wässrigen Lösung mit Sulfat-Anionen eine Bariumchlorid-Lösung zuge-
tropft, so fällt Bariumsulfat (Abbildung 4-25) in Form eines weißen Niederschlags aus
(Herbig & Wagler, 2018).

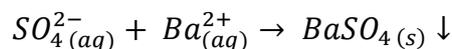


Abbildung 4-25: Reaktionsgleichung für den Nachweis von Sulfat-Anionen

Die Probelösung sollte dabei mit einer Salzsäure-Lösung angesäuert werden, wobei zu beachten ist, dass bei einer zu stark angesäuerten, wässrigen Lösung eine Ausfällung von Bariumfluorid oder Bariumhexafluorosilicat erfolgen kann (Schweda, 2016). Des Weiteren können Konzentrationsniederschläge in Form von Bariumchlorid bei zu hoher Konzentration von Chlorid-Anionen in der Probelösung auftreten (Herbig & Wagler, 2018).

Nachweis von ausgewählten Kationen mittels der Flammenfärbung

Durch die Flammenfärbung werden u. a. Alkali- und Erdalkalimetalle identifiziert (Herbig & Wagler, 2018). Werden beispielweise wenige Tropfen einer wässrigen Natriumchlorid-Lösung mit Hilfe eines Magnesiastäbchens in die nicht-leuchtende Bunsenbrennerflamme gehalten, so verdampft zuerst das Lösungsmittel und anschließend wird das Salz in den gasförmigen Aggregatzustand überführt, wobei ein sehr geringer Anteil der Verbindung in die Atome Natrium und Chlor dissoziiert (Binnewies, 2016). Durch die thermische Energie der Bunsenbrennerflamme kann das Valenzelektron des Natrium-Atoms in einen angeregten Zustand versetzt werden, sodass das Elektron für eine kurze Zeitspanne in das 3p-Orbital übergeht (Dohmann, 2020). Bei der Rückkehr des Valenzelektrons in seinen Grundzustand, dem 3s-Orbital, wird die frei werdende Energie in Form von sichtbarer elektromagnetischer Strahlung emittiert (Binnewies, 2016). Je größer die Energiedifferenz zwischen dem angeregten Zustand und Grundzustand ist, desto kurzwelliger ist die emittierte elektromagnetische Strahlung (Felixberger, 2017). Da die Valenzelektronen in den Atomen der Alkali- und Erdalkalimetalle relativ schwach gebunden sind, lassen sich diese thermisch leicht anregen (Holleman et al., 2017a). Die Schritte bei der Flammenfärbung werden in der Tabelle 4-30 und in der Abbildung 4-26 adaptiert nach Gey (2015) und Binnewies (2016) aufgezeigt:

Tabelle 4-30: Vorgänge bei der Flammenfärbung

Schritt	Vorgang
1. Wässrige Natriumchlorid-Lösung wird in Bunsenbrennerflamme gegeben → Lösungsmittel verdampft → Natriumchlorid bleibt im festen Aggregatzustand zurück	Verdampfung
2. $NaCl_{(s)} \rightarrow NaCl_{(g)}$	Verdampfung
3. $NaCl_{(g)} \rightarrow Na_{(g)} + Cl_{(g)}$	Dissoziation
4. $Na_{(g)} \xrightarrow{\Delta} Na^*_{(g)}$	Thermische Anregung
5. $Na^*_{(g)} \rightarrow Na_{(g)} + hv$	Emission von elektromagnetischer Strahlung

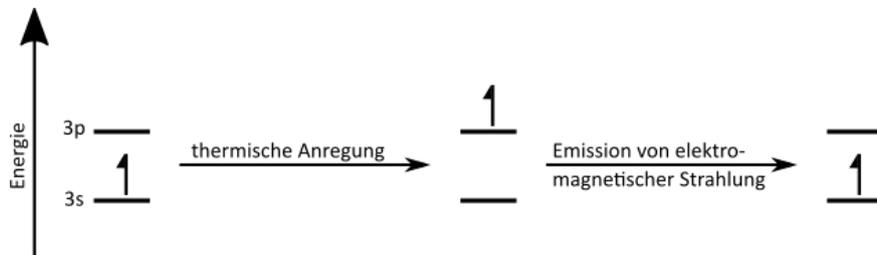


Abbildung 4-26: Anregung des Valenzelektrons eines Natrium-Atoms

Die Flammenfärbungen ausgewählter Metalle werden adaptiert nach Latscha et al. (2004) und Holleman et al. (2017a) in der Tabelle 4-31 dargestellt:

Tabelle 4-31: Charakteristische Flammenfärbung einiger Metalle

Metall	Flammenfärbung	Emittierte Hauptwellenlängen [nm]
Lithium	rot	610.4 und 670.8
Natrium	gelb	588.9 und 589.6
Kalium	violett	404.7/404.4 und 769.9/766.4
Calcium	ziegelrot	rote Linie bei 622.0 und grüne Linie bei 553.3
Strontium	rot	orangefarbene Linie bei 605 und blaue Linie bei 460.7
Barium	grün	grüne Linien bei 524.2 und 513.7

Lösevorgang von ionischen Verbindungen in Wasser

Der Lösevorgang von ionischen Verbindungen in Wasser kann in zwei hypothetische Schritte unterteilt werden. Im ersten Schritt werden Ionen eines Kristallgitters in den gas-

förmigen Zustand überführt, sodass nur minimale Wechselwirkungen zwischen den Kationen und Anionen vorhanden sind (Binnewies, 2016). Um die Kristallstruktur aufzubrechen, muss der Betrag der Gitterenergie aufgewendet werden (Mortimer et al., 2014). Nach U. Müller (2009) kann die Gitterenergie eines Ionenkristalls als die Energie aufgefasst werden, die entsteht, wenn bei einer Temperatur von null Kelvin sich ein Ionengitter aus Ionen bildet, die sich aus unendlicher Entfernung entgegenkommen. Der Betrag der Gitterenergie bestimmt grundlegend die physikalischen Eigenschaften der Ionenverbindung und nimmt mit zunehmender Ionenladung sowie abnehmenden Ionenradien zu (Riedel & Meyer, 2018). Die Gitterenergie ist stets ein positives und ist bei einer Temperatur von null Kelvin kongruent zur Gitterenthalpie, wobei die Angleichung der Gitterenthalpie bei Raumtemperatur meist vernachlässigt wird (Atkins et al., 2013). Die Gitterenergie (U_G) kann mit Hilfe der Born-Landé-Gleichung (Formel 4-1 und Tabelle 4-32) berechnet werden (Huheey et al., 2014):

$$U_G = - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{N_A A a b e^2}{d_0} \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

Formel 4-1: Born-Landé-Gleichung

Tabelle 4-32: Bestandteile der Born-Landé-Gleichung mit Angaben für Natriumchlorid

A	=	1.74756	Madelung-Konstante
N_A	=	$6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol L}^{-1}$	Avogadrozahl
a	=	1	Anzahl der Ladungen des Kations
b	=	1	Anzahl der Ladungen des Anions
e	=	$1.60210 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	Elektrische Elementarladung
π	=	3.14159	Kreiszahl Pi
ϵ_0	=	$8.854185 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ J}^{-1} \text{ m}^{-1}$	Elektrische Feldkonstante
d_0	=	$2.814 \cdot 10^{-10} \text{ m}$	Kernabstand der Ionen
n	=	8	Born-Exponent

Die Gitterenergie muss im zweiten Schritt eines Löseprozesses von ionischen Verbindungen in Wasser durch die Hydratationsenthalpie, die bei der Hydratisierung der Anionen und Kationen frei wird, kompensiert werden (Holleman et al., 2007). Bei Verwendung des Begriffs Hydratationsenthalpie wird das Lösungsmittel Wasser eingesetzt, während der Begriff Solvatationsenthalpie für anderweitige Lösungsmittel verwendet wird (Hoinkis & Lindner, 2007). Im Zuge der Hydratisierung werden die Ionen aufgrund von elektrostatischen Wechselwirkungen, der Ionen-Dipol-Anziehung, von einer Hydrathülle aus Wassermolekülen umgeben (Vinke et al., 2013). Die negativ geladenen Anionen werden dabei durch die Anziehungen zu den partiell positiv geladenen Wasserstoff-Atomen der Wasser-Moleküle und die positiv geladenen Kationen durch die Anziehung zu den partiell negativ geladenen Sauerstoff-Atomen der Wasser-Moleküle hydratisiert (P.

Schmidt, 2019). Hierbei zeigt die Hydrationszahl an, wie viele Wasser-Moleküle insgesamt die einzelnen Ionen umgeben können (Binnewies, 2016). Schematisch wird der Hydratisierungsprozess von Natriumchlorid in der vereinfachten, zweidimensionalen Abbildung (Abbildung 4-27) adaptiert nach Riedel und Meyer (2018) dargestellt.

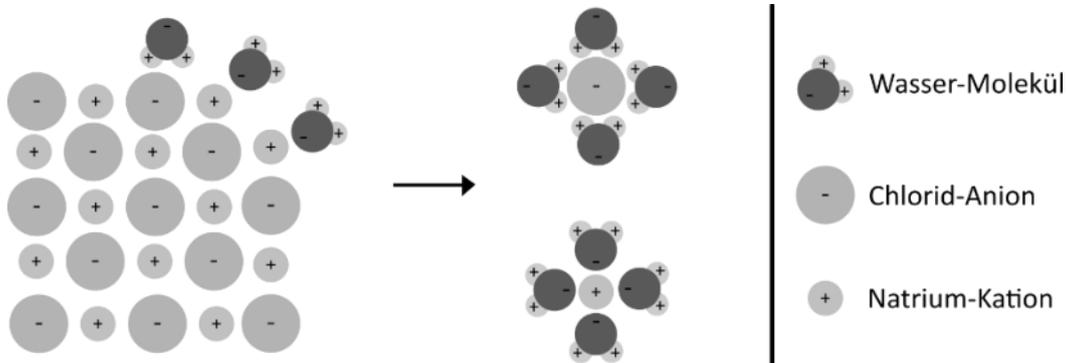


Abbildung 4-27: Vereinfachter, zweidimensionaler Hydratisierungsprozess von Natriumchlorid

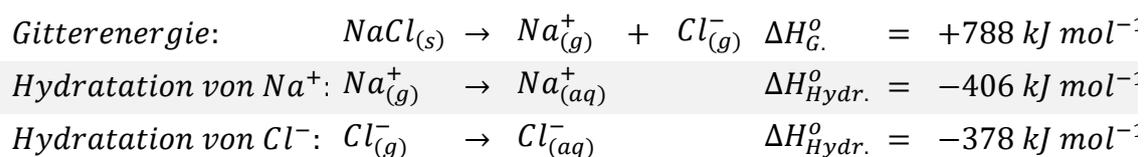
Dabei zeigt sich, dass der Betrag der Hydrationsenthalpie mit zunehmender Ionenladung und abnehmendem Ionenradius zunimmt (Riedel & Meyer, 2018). Eine Berechnung der Hydrationsenthalpie (Formel 4-2) eines Salzes kann aus der Differenz der Standardbildungsenthalpien aller Ionen im gelösten und gasförmigen Zustand erfolgen (Kurzweil, 2015):

$$\Delta H_{Hydr.}(Salz) = \sum \Delta H_{B,Ionen(aq)}^0 - \sum \Delta H_{B,Ionen(g)}^0$$

Formel 4-2: Berechnung der Hydrationsenthalpie

Zu beachten ist, dass der erste Schritt zur Abtrennung der Ionen aus dem Kristallgitter stets endotherm verläuft, wohingegen der zweite Schritt in Form der Überführung der einzelnen Ionen in das Lösungsmittel immer exotherm abläuft (Battino & Letcher, 2001). Wird der Löseprozess bei konstantem Druck durchgeführt, werden zur Berechnung der energetischen Veränderungen bei dem Löseprozess die Gitterenthalpien (ΔH_G^0) und Hydrationsenthalpien ($\Delta H_{Hydr.}^0$) verwendet. Dies wird exemplarisch für die Lösungsenthalpie (ΔH_L^0) des Löseprozess von Natriumchlorid in Wasser mit den Werten nach P. Schmidt (2019) aufgeführt (Tabelle 4-33):

Tabelle 4-33: Lösungsenthalpie des Löseprozess von Natriumchlorid in Wasser



Die Lösungsenthalpie lässt anschließend aus der Differenz der Gitterenergie und Hydrationsenthalpie (Formel 4-3) bilden (Kurzweil, 2015):

$$\Delta H_L^0 = \Delta H_G^0 (\text{NaCl}) + \Delta H_{\text{Hydr.}}^0 (\text{Na}^+) + \Delta H_{\text{Hydr.}}^0 (\text{Cl}^-) = +4 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Formel 4-3: Berechnung der Lösungsenthalpie

Der Löseprozess kann auch mit Hilfe eines Enthalpieschemas (Abbildung 4-28) in Anlehnung an Binnewies (2016) folgendermaßen visualisiert werden:

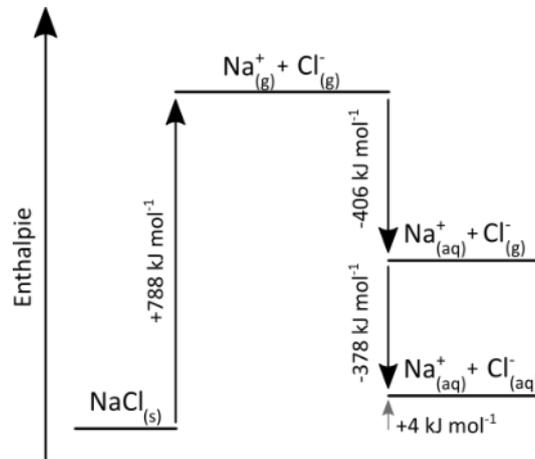


Abbildung 4-28: Enthalpie-Kreisprozess für den Löseprozess von Natriumchlorid in Wasser

Ist der Betrag der Gitterenergie größer als der Betrag der Hydratationsenergie, so verläuft der Löseprozess endotherm und die entstehende wässrige Salzlösung kühlt ab (Riedel & Meyer, 2018). Aufgrund des Bestrebens zur Zunahme der Entropie, leistet das System zur Trennung der Ionen Arbeit, die zur einer Abnahme der inneren Energie führt, sodass ein endothermer Löseprozess ablaufen kann (Huheey et al., 2014). Erfolgt der Löseprozess exotherm, ist der Betrag der Hydratationsenthalpie größer als der Betrag der Gitterenergie und es kann eine Temperaturerhöhung der entstehenden wässrigen Salzlösung beobachtet werden (Huheey et al., 2014).

Elektrische Leitfähigkeit von ionischen Verbindungen

Ionische Verbindungen können als Schmelzen sowie in gelöster Form den elektrischen Strom leiten (Binnewies, 2016). Die Leitfähigkeit beruht auf dem Vorhandensein von negativ geladenen Anionen und positiv geladenen Kationen, die sich beim Anlegen eines elektrischen Feldes bewegen können und somit in der Lage sind, die elektrischen Ladungen zu transportieren (Huheey et al., 2014). Im festen Aggregatzustand ziehen sich die Anionen und Kationen eines Ionenkristalls aufgrund ihrer entgegengesetzten elektrischen Ladung ungerichtet in alle Raumrichtungen an, sodass die Ionen im Kristallgitter eine möglichst dichte, regelmäßige und dreidimensionale Anordnung bilden (P. Schmidt, 2019). Dabei kann die Energie der Wechselwirkung eines Ionenpaares mit dem Coulomb'schen Gesetz (Formel 4-4) berechnet werden (P. Schmidt, 2019):

$$E_C = \frac{z_+ \cdot e \cdot z_- \cdot e}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot d}$$

Formel 4-4: Coulomb'sches Gesetz

In einem Kristallgitter können sich die Ionen jedoch nur bis zu einem bestimmten Gleichgewichtsabstand annähern, da den elektrostatischen Anziehungskräften die elektrostatischen Abstoßungen der Elektronenhüllen der Ionen entgegen wirken (Riedel & Meyer, 2018). Mit der Formel 4-5 lässt sich das Maximum der Gitterenergie eines Kristalls in Hinsicht auf den Gleichgewichtszustand der einwirkenden Kräfte ausdrücken (P. Schmidt, 2019):

$$E_G = N_A \cdot A \cdot \frac{z_+ \cdot e \cdot z_- \cdot e}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot d} + \frac{B}{d^n}$$

Formel 4-5: Gitterenergie für den Gleichgewichtszustand der einwirkenden Kräfte

Tabelle 4-34: Bestandteile der Formel 4-4 und Formel 4-5

A	Madelung-Konstante
B	Born-Konstante
N_A	Avogadrozahl
z_+	Ladung des Kations
z_-	Ladung des Anions
e	Elektrische Elementarladung
π	Kreiszahl Pi
ϵ_0	Elektrische Feldkonstante
d	Kernabstand der Ionen

Aufgrund des Gleichgewichtszustands weisen die Ionen eines Ionenkristalls bei Standardbedingungen einen geringen Bewegungsradius auf, sodass die elektrische Leitfähigkeit im festen Aggregatzustand minimal ist (Riedel & Meyer, 2018). Bei Schmelzen werden jedoch die Anziehungskräfte zwischen den Ionen teilweise überwunden, sodass aufgrund der höheren Beweglichkeit der Ionen die elektrische Leitfähigkeit steigt (Benedix, 2015). Diese höhere Beweglichkeit der Ionen wird durch die Zunahme der Fehlordnungen im Kristallgitter bei steigender Temperatur verursacht (Hamann et al., 2017).

Die Löslichkeit vieler ionischer Verbindungen in polaren Lösungsmitteln ermöglicht die elektrische Leitfähigkeit der entstehenden Elektrolytlösungen (Binnewies, 2016). Bei dem Löseprozess werden nach dem Überwinden der Gitterenergie die Ionen hydratisiert (0) und sind frei beweglich (Riedel & Meyer, 2018). Mit der Äquivalenzleitfähigkeit (Λ) kann angegeben werden (Formel 4-6), wie gut Ladungen durch den Elektrolyten in Abhängigkeit der Konzentration des Elektrolyten transportiert werden (Czeslik et al., 2010):

$$\Lambda = \frac{\kappa}{c}$$

Formel 4-6: Formel der Äquivalenzleitfähigkeit

Werden die Geschwindigkeiten, die Beweglichkeit sowie die Ladungen der Kationen und Anionen berücksichtigt, kann die Äquivalenzleitfähigkeit mit der Formel 4-7 dargestellt werden (Springborg, 2016):

$$\Lambda = F \cdot (v^+ \cdot z^+ \cdot u^+ + v^- \cdot z^- \cdot u^-)$$

Formel 4-7: Modifizierte Formel der Äquivalenzleitfähigkeit

Tabelle 4-35: Bestandteile der Formel 4-6 und Formel 4-7

Λ	Äquivalenzleitfähigkeit
κ	Spezifische Leitfähigkeit
c	Konzentration des Elektrolyten
F	Faraday-Konstante
v^+, v^-	Geschwindigkeiten der Kationen und Anionen im Elektrolyten
u^+, u^-	Beweglichkeit der Kationen und Anionen im Elektrolyten
z^+, z^-	Ladungen der Kationen und Anionen

Chemische Betrachtung des Lösevorgangs von Brausetabletten in Wasser

Citronensäure, 2-Hydroxypropan-1,2,3-tricarbonsäure, ist ein Bestandteil von Brausetabletten und enthält neben den drei Carboxylgruppen eine weitere Hydroxygruppe (Wollrab, 2014). Die Dissoziation des Citronensäure-Moleküls in Wasser (Abbildung 4-29) kann nach Apelblat und Barthel (1991) sowie Brown et al. (2018) wie folgt formuliert werden:

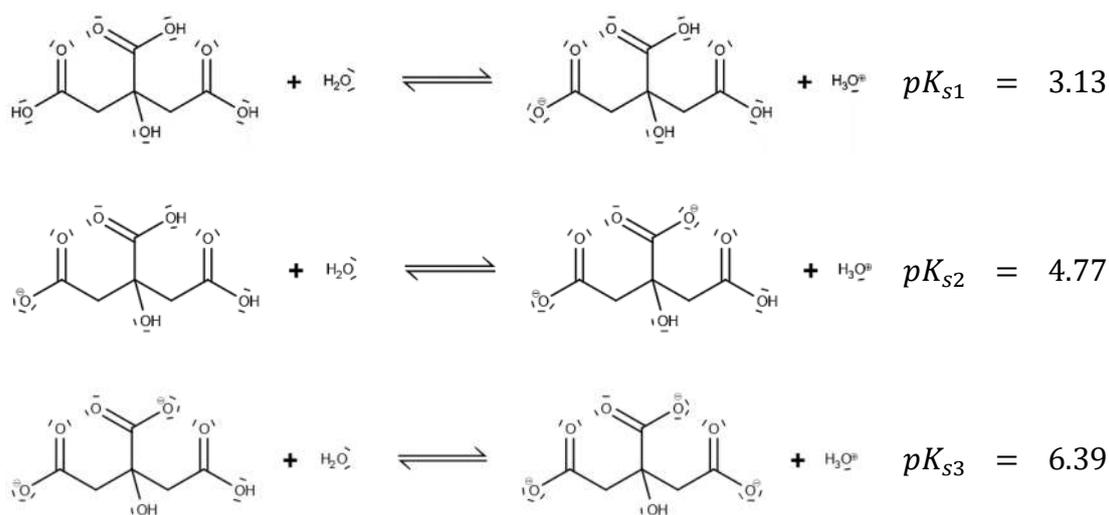


Abbildung 4-29: Dissoziation des Citronensäure-Moleküls in Wasser

Hierbei zeigt sich, dass die ersten beiden Dissoziationsschritte an den beiden terminalen Carboxylgruppen des Citronensäure-Moleküls stattfinden (Loewenstein & Roberts,

1960). Zudem kann das Citronensäure-Molekül mit Kationen, die im Wasser enthalten sind, Chelat-Komplexe (Abbildung 4-30) bilden (Kabir & Koh, 2017; Wiese & Veith, 1975):

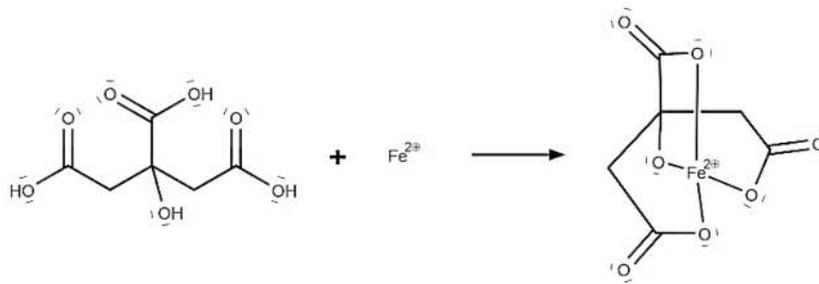


Abbildung 4-30: Komplexbildung von einem Citronensäure-Molekül mit einem Eisen(II)-Kation

Des Weiteren beinhalten Brausetabletten meistens Natriumhydrogencarbonat. Das Natriumhydrogencarbonat reagiert mit Wasser (Abbildung 4-31) im Gegensatz zum Natriumcarbonat nur schwach alkalisch (Holleman et al., 2017a):

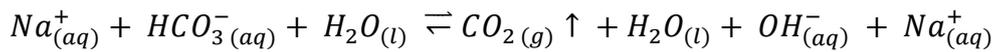


Abbildung 4-31: Reaktion von Natriumhydrogencarbonat mit Wasser

Natriumhydrogencarbonat und Citronensäure reagieren in einer endothermen Reaktion u. a. zu Kohlenstoffdioxid (Abbildung 4-32), das bei dem Lösevorgang von Brausetabletten in Wasser für die Gasentwicklung verantwortlich ist (Schmidkunz et al., 2019):



Abbildung 4-32: Reaktion von Natriumhydrogencarbonat mit Citronensäure

Das entstehende Kohlenstoffdioxid kann mit einer gesättigten Calciumhydroxid-Lösung (Kalkwasser) unter Bildung eines weißen Niederschlags von Calciumcarbonat (Abbildung 4-33) nachgewiesen werden (Binnewies, 2016):

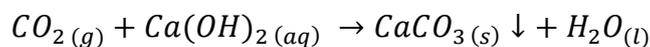


Abbildung 4-33: Kalkwasserprobe zum Nachweis von Kohlenstoffdioxid

Jedoch ist zu beachten, dass sich bei einem Überschuss an Kohlenstoffdioxid die Fällung durch die einsetzende Bildung von Calciumhydrogencarbonat (Abbildung 4-34) wieder auflöst (Mortimer et al., 2014):

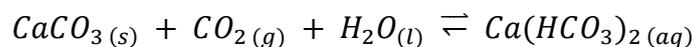


Abbildung 4-34: Weiterreaktion von Calciumcarbonat mit Kohlenstoffdioxid und Wasser

Dichte von Lösungen

Die Dichte ist eine Zustandsgröße, die zu den intensiven Größen, welche nicht von der Stoffmenge des Systems abhängen, zählt (Springborg, 2016). Die Werte von intensiven Zustandsgrößen bleiben bei dem Zusammenfügen gleicher Systeme konstant und sind nicht additiv (Bechmann & Bald, 2016). Die mittlere Dichte (ρ) lässt sich mit der Formel 4-8 ermitteln (Tipler et al., 2019):

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Formel 4-8: Formel der Dichte

Zu beachten ist, dass die Dichte abhängig von der Temperatur und dem Druck ist (Fritsche, 2020). Bei der Berechnung der Dichte von Festkörpern und Flüssigkeiten werden Temperatur und Druck oftmals als konstant bzw. Standardbedingungen von $T = 273.15 \text{ K}$ oder $T = 298.15 \text{ K}$ und $p = 1 \text{ bar}$ angenommen (Tipler et al., 2019). Werden zwei mischbare Flüssigkeiten mit unterschiedlichen Dichten übereinander geschichtet, so ist eine klare Grenzfläche zu erkennen, die durch Diffusion der Teilchen nach einiger Zeit unschärfer wird (Mortimer et al., 2014).

5 Präpilotierung

Fragestellung 3

Wie wird die konzipierte eintägige Lehrkräftefortbildung von den Teilnehmenden bewertet?

Im Zuge der Präpilotierung stand insbesondere die Evaluation der Fortbildungsmaßnahme hinsichtlich der Durchführbarkeit, der Zufriedenheit der teilnehmenden Lehrkräfte und dem Nutzen für die Schulpraxis im Vordergrund. Zur Überprüfung der o. a. Fragestellung wurden die Daten der Fragebögen zur Zufriedenheit mit der Fortbildung, zum subjektiven Lernerfolg sowie zur aktuellen Motivation hinsichtlich des Einsatzes der Fortbildungsinhalte und -materialien im Unterricht verwendet. Die Teilnehmenden konnten in den drei Teilaspekten die Fortbildung anhand einer fünfstufigen Likert-Skala, deren Spannweite von 1 = „sehr unzutreffend“ bis 5 = „sehr zutreffend“ reichte, bewerten. Hohe Werte im Bereich zwischen vier und fünf deuteten tendenziell in allen drei Teilaspekten auf eine positive Bewertung der Fortbildung hin.

Bei Überprüfung der Reliabilitäten zeigten sich insgesamt gute Cronbachs Alpha-Werte für die Daten aller drei Fragebögen (Tabelle 5-1). Bei dem Fragenbogen zur Zufriedenheit wurde das Item 12 aufgrund einer negativen Trennschärfe entfernt, wodurch sich der Cronbachs Alpha-Wert von .915 auf .923 verbesserte.

Die Analyse der Normalverteilung mit dem Shapiro-Wilk- Test ergab, dass die Daten zur Motivation, zum subjektiven Lernerfolg und zur Zufriedenheit ohne Item 12 normalverteilt waren (Tabelle 14-35).

Tabelle 5-1: Präpilotierung - Reliabilitätsstatistiken zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation

Fragebogen	Cronbachs Alpha	Anzahl der Items
Zufriedenheit	.923	17
Subjektiver Lernerfolg	.874	5
Motivation	.839	7

Die Fragebögen enthielten ordinale Skalen, für deren Bewertung der Median verwendet wurde. Insgesamt konnten in der Tabelle 5-2 hohe Werte für das Maß der zentralen Tendenz beobachtet werden, da kein Median unter 4.00 lag. Dies konnte ein Hinweis für die positive Bewertung der Maßnahme durch die Lehrkräfte sein.

Zusätzlich beinhaltete der Zufriedenheitsfragebogen offene Items, bei denen die Teilnehmenden ihre Einschätzung schriftlich äußern sollten. Die zusammengefassten Ergebnisse können in Tabelle 5-3 eingesehen werden. Hierbei tendierten die teilnehmenden Lehrkräfte ebenfalls zu einer positiven Bewertung der Fortbildungsmaßnahme.

Tabelle 5-2: Präpilotierung - Deskriptive Statistiken zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation

Fragebogen	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Median</i>	<i>Modus</i>	<i>SD</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>
Zufriedenheit	11	4.56	4.70	4.71	.39	3.71	5.00
Subjektiver Lernerfolg	11	4.36	4.20	4.20	.49	3.40	5.00
Motivation	11	4.44	4.42	5.00	.41	3.86	5.00

Tabelle 5-3: Präpilotierung - Zusammengefasste Kommentare zur Zufriedenheit mit der Lehrkräftefortbildung

Item	An dieser Fortbildung hat mir besonders gut gefallen.	Nennung	An dieser Fortbildung hat mir nicht gefallen.	Nennung	Weitere Anmerkungen.	Nennung
Offene Antworten	Praktisches Experimentieren	5	Zu lange Mittagspause	1	Katalog mit selbstgesteuerten Experimenten für die Zukunft	1
	Praxis- und Lehrplanbezug	3				
	Organisation	1				
	Atmosphäre	1				
	Motivierender Dozent	1				
Keine Angaben		4		10		10

Aufgrund der geringen Probandenanzahl in der Präpilotierung ließen sich nur Tendenzen zur Bewertung der Fortbildung durch die Lehrkräfte ableiten.

Konsequenzen aus der Präpilotierung für die Pilotierung

Die Fortbildung wurde durch die Anregungen der Lehrkräfte inhaltlich optimiert. Beispielsweise wurde der theoretische Input bezüglich der Kennzeichen des selbstgesteuerten Experimentierens um mehrere Folien erweitert. Im Zuge der Präsentation des Strukturierungskonzepts wurden auf Wunsch der Lehrkräfte mehr konkrete Praxisbeispiele aufgeführt. Zusätzlich wurde der Bau von Coolpacks als ein weiteres Beispielexperiment in die Pilotierung I mit aufgenommen. Ein Katalog mit selbstgesteuerten Experimenten ist zur Publikation eingereicht.

6 Pilotierungen

6.1 Pilotierung I

Fragestellung 2

Kann die Maßnahme einen fachdidaktischen Wissenszuwachs der teilnehmenden Lehrkräfte im Bereich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten fördern?

Die Fragestellung wurde mit Hilfe der ersten Version des Messinstruments zur experimentellen Planungskompetenz, welches das fachdidaktische Wissen der Teilnehmenden hinsichtlich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten maß, überprüft (4.1.3). Die Posttestdaten wurden dabei als Grundlage für die Berechnungen der Voranalysen verwendet. Das Messinstrument der Pilotierung I beinhaltet verteilt auf 16 Items insgesamt 68 Antwortalternativen. Nach Entfernung von Antwortalternativen, die beispielsweise negative Trennschärfen aufzeigten oder zu Problemen bei der Bearbeitung führten, konnte für die verbleibenden 37 Antwortalternativen ein Cronbachs Alpha-Wert von .768 berechnet werden (vgl. 4.1.3).

Im Zuge der Überprüfung der Normalverteilungsannahme mittels des Shapiro-Wilk-Tests (Tabelle 6-1) zeigte sich, dass sowohl die Daten des Gesamttests als auch die Antwortalternativen mit akzeptablen Trennschärfen normalverteilt waren.

Tabelle 6-1: Pilotierung I - Test auf Normalverteilung

Test	Daten	df	Teststatistik	p	Interpretation
Shapiro-Wilk	Gesamttest	33	.971	.509	n. s.
	Antwortalternativen mit akzeptablen Trennschärfen	33	.951	.143	n. s.

Ein t-Test für gepaarte Stichproben wies darauf hin, dass die teilnehmenden Lehrkräfte einen hoch signifikanten Lernzuwachs mit einer mittleren Effektstärke ($t(32) = -3.28$, $p = .002$, $d_z = .57$) erreichten (siehe Abbildung 6-1 und Tabelle 6-2).

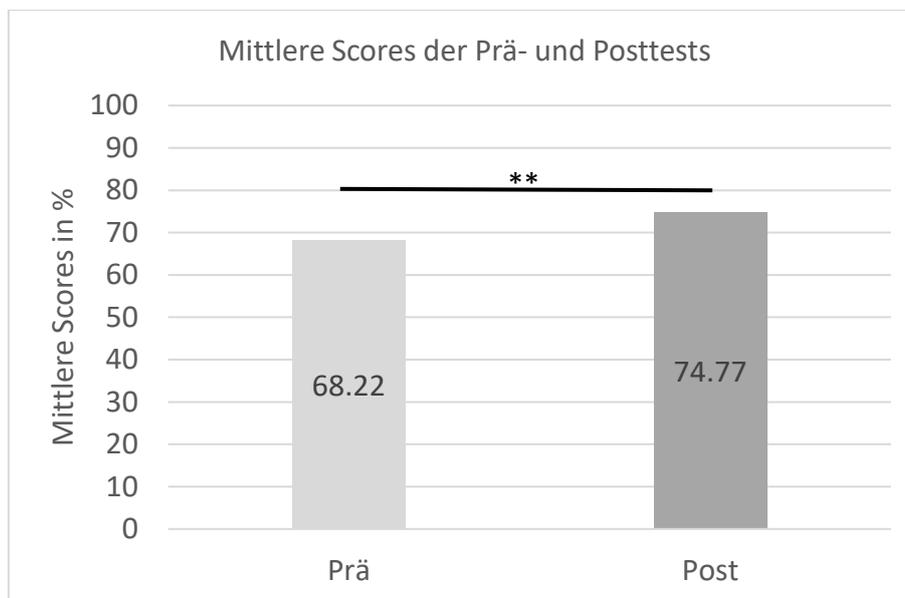


Abbildung 6-1: Pilotierung I - Mittelwerte Prä- und Posttest

Tabelle 6-2: Pilotierung I - Deskriptive Statistiken und Inferenzstatistiken

Deskriptive Statistik	Messzeitpunkt	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>
	Prä	33	68.22	9.72	48.65	83.78
	Post	33	74.77	12.61	43.24	97.30
Inferenzstatistik	Prä-Post-Vergleich t-Test	<i>n</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>d_z</i>
		33	-3.28	32	.002	.57

Fragestellung 3

Wie wird die konzipierte eintägige Lehrkräftefortbildung von den Teilnehmenden bewertet?

Zur Überprüfung der Fragestellung wurden die erhobenen Befragungsergebnisse zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation verwendet. Die Daten der Fragebögen zur Zufriedenheit mit der Fortbildung sowie zum subjektiven Lernerfolg zeigten gute Reliabilitätswerte auf (Tabelle 6-3). Die Trennschärfe des Items 9 des Fragebogens zur Zufriedenheit lag unter .10, sodass dieses für weitere Berechnungen nicht berücksichtigt wurde. Somit steigerte sich der Wert des Cronbachs Alpha von .866 auf .886. Das Cronbachs Alpha des Fragebogens zur aktuellen Motivation wies einen Wert von .605 auf. Das Item 6 dieses Fragebogens konnte aufgrund der Trennschärfe unter .10 entfernt werden. Aus Gründen der Validität verblieb es im Fragebogen.

Tabelle 6-3: Pilotierung I - Reliabilitätsstatistiken zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation

Fragebogen	Cronbachs Alpha	Anzahl der Items
Zufriedenheit	.886	17
Subjektiver Lernerfolg	.826	5
Motivation	.605	7

Die Überprüfung der Normalverteilung mittels des Shapiro-Wilk-Tests zeigte, dass die Daten der Fragebögen zum subjektiven Lernerfolg sowie zur Motivation im Gegensatz zum Fragebogen zur Zufriedenheit ohne Item 9 normalverteilt waren.

Die Bewertung der Lehrkräftefortbildung konnte in allen drei Aspekten als positiv angesehen werden, da die Mediane der drei Teilaspekte deutlich über 4.00 lagen (Tabelle 6-4). Die Antworten der Lehrkräfte zu den offenen Items des Fragebogens zur Zufriedenheit, die in der Tabelle 6-5 dargelegt sind, dokumentierten ebenfalls eine in der Tendenz mehrheitlich positive Resonanz.

Tabelle 6-4: Pilotierung I - Deskriptive Statistiken zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation

Fragebogen	n	M	Median	Modus	SD	Min.	Max.
Zufriedenheit	27	4.58	4.71	4.71	.34	3.53	5.00
Subjektiver Lernerfolg	27	4.31	4.40	4.40	.50	3.00	5.00
Motivation	27	4.26	4.29	4.00	.40	3.57	5.00

Tabelle 6-5: Pilotierung I - Zusammengefasste Kommentare zur Zufriedenheit mit der Lehrkräftefortbildung

Item	An dieser Fortbildung hat mir besonders gut gefallen.	Nennung	An dieser Fortbildung hat mir nicht gefallen.	Nennung	Weitere Anmerkungen.	Nennung
Offene Antworten	Praktisches Experimentieren	5	Eigenständiges Entwerfen von Materialien	1		
	Praxis- und Lehrplanbezug	3				
	Adäquate Beispielmaterialien	5				
	Erhalt der digitalen Materialien	1				

	Theoretische Fundierung der Inhalte	1				
	Abwechslung von Theorie und Praxis	1				
	Atmosphäre	1				
	Klare Strukturierung	2				
	Vortrag des Dozenten	2				
Keine Angaben		13		26		27

Die Ergebnisse zur Bewertung der Fortbildung konnten aufgrund der geringen Teilnehmerzahlen nur Hinweise für eine positive Beurteilung geben. Eine berechnete Korrelation der Bewertungsaspekte mit den residualen Lernzuwächsen zeigte keine signifikanten Zusammenhänge (Tabelle 6-6).

Tabelle 6-6: Pilotierung I - Korrelationen der Aspekte zur Bewertung der Fortbildung mit den residualen Lernzuwächsen

Korrelation	r_p	p
Residualer Lernzuwachs – Zufriedenheit	-.155	.441
Residualer Lernzuwachs – Subjektiver Lernerfolg	-.078	.700
Residualer Lernzuwachs – Aktuelle Motivation	.102	.613

6.2 Pilotierung II

Fragestellung 2

Kann die Maßnahme einen fachdidaktischen Wissenszuwachs der teilnehmenden Lehrkräfte im Bereich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten fördern?

Die Fragestellung zum fachdidaktischen Wissenszuwachs wurde mittels der überarbeiteten Version des Tests zur experimentellen Planungskompetenz überprüft (4.1.3). Nach der Überarbeitung des Messinstruments enthielt dieses 76 Antwortalternativen. Die Voranalysen für die Pilotierung II erfolgten auf Basis der Posttest-Daten. Im Zuge der Reliabilitätsanalyse wurden alle Antwortalternativen entfernt, deren Trennschärfe unter .10 lagen. Pro Item wurde jedoch mindestens eine Antwortalternative behalten. Insgesamt wurde das Cronbachs Alpha von 32 Antwortalternativen auf .873 geschätzt.

Die Überprüfung auf Normalverteilung mit Hilfe des Shapiro-Wilk-Tests wies ein differenziertes Bild auf. Im Gegensatz zu den Gesamtdaten entsprachen die Daten mit Trennschärfen über .10 nicht der Normalverteilung (Tabelle 6-7).

Tabelle 6-7: Pilotierung II - Test auf Normalverteilung

Test	Daten	df	Teststatistik	p	Interpretation
Shapiro-Wilk	Gesamttest	24	.948	.251	n. s.
	Antwortalternativen mit akzeptablen Trennschärfen	24	.841	.002	signifikant

Aufgrund der Verletzung der Normalverteilungsannahme wurde der nonparametrische Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test durchgeführt. Hierbei unterschieden sich die Mittelwerte der Prä- und Posttests aus Tabelle 6-8 signifikant mit einer mittleren Effektstärke voneinander ($Z = -2.11$, $p = .035$, $r = .43$). Somit konnte gefolgert werden, dass die Teilnehmenden der Pilotstudie II einen Lernzuwachs erfuhren (Abbildung 6-2).

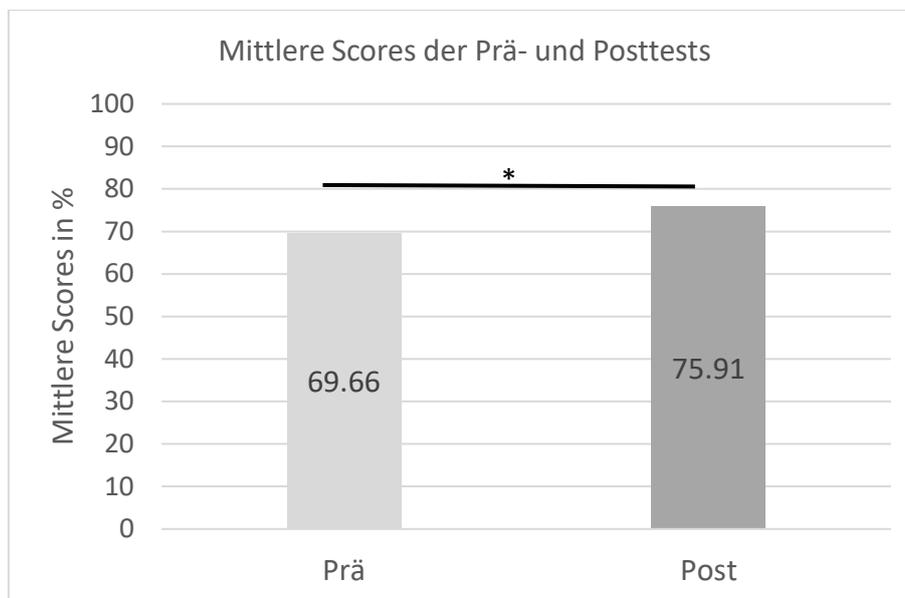


Abbildung 6-2: Pilotierung II - Mittelwerte Prä- und Posttest

Tabelle 6-8: Pilotierung II - Deskriptive Statistiken und Inferenzstatistiken

Deskriptive Statistik	Messzeitpunkt	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>
	Prä	24	69.66	9.94	56.25	87.50
	Post	24	75.91	18.18	25.00	96.88
Inferenzstatistik	Prä-Post-Vergleich Wilcoxon-Test	<i>n</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	
		24	-2.11	.035	.43	

Fragestellung 3:

Wie wird die konzipierte eintägige Lehrkräftefortbildung von den Teilnehmenden bewertet?

Die Fragestellung wurde mit Hilfe der Daten des Messinstruments zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation getestet. Die Reliabilitätsanalyse ergab für die Fragebögen zur Zufriedenheit und zur Motivation hohe Cronbachs Alpha Werte (Tabelle 6-9). Hinsichtlich des Fragebogens zur Zufriedenheit wurde das Item 13 aufgrund einer Trennschärfe unter .10 entfernt, sodass der Wert des Cronbachs Alpha von .871 auf .879 stieg. Für die Daten des Fragebogens zum subjektiven Lernerfolg wurde nur ein geringer Cronbachs Alpha-Wert von .630 geschätzt. Dieser Wert konnte durch die Streichung des Items 5 verbessert werden. Dies wurde aus Validitätsgründen nicht vorgenommen.

Tabelle 6-9: Pilotierung II - Reliabilitätsstatistiken zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation

Fragebogen	Cronbachs Alpha	Anzahl der Items
Zufriedenheit	.879	17

Subjektiver Lernerfolg	.630	5
Motivation	.806	7

Die Überprüfung der Normalverteilungsannahme mit dem Shapiro-Wilk-Test zeigte, dass die Daten der Fragebögen zur Zufriedenheit ohne Item 13, zum subjektiven Lernerfolg sowie zur Motivation normalverteilt waren. Wurden die Mediane aller drei Teilaspekte in der Tabelle 6-10 betrachtet, lagen diese über 4.00. Dies konnte als Hinweis für eine positive Bewertung der Fortbildung durch die teilnehmenden Lehrkräfte gedeutet werden. Komplementiert wurde diese Tendenz durch die zumeist positiven Kommentare der Teilnehmenden bezüglich der Zufriedenheit (Tabelle 6-11).

Tabelle 6-10: Pilotierung II - Deskriptive Statistiken zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation

Fragebogen	n	M	Median	Modus	SD	Min.	Max.
Zufriedenheit	23	4.32	4.37	4.00	.39	3.71	4.94
Subjektiver Lernerfolg	23	4.18	4.20	4,40	.43	3.20	5.00
Motivation	23	4.17	4.00	4.00	.50	3.14	5.00

Tabelle 6-11: Pilotierung II - Zusammengefasste Kommentare zur Zufriedenheit mit der Lehrkräftefortbildung

Item	An dieser Fortbildung hat mir besonders gut gefallen.	Nennung	An dieser Fortbildung hat mir nicht gefallen.	Nennung	Weitere Anmerkungen.	Nennung
Offene Antworten	Praktisches Experimentieren	5	Zu wenig Zeit zum Experimentieren	1	Umsetzung in Schule an einigen Stellen unklar	1
	Praxis- und Lehrplanbezug	5				
	Passende Beispielmateriale	3	Hoher Zeitaufwand für Referendare	1		
	Adäquate Gestaltung der Materialien	1	Fehlende Betrachtung von schwierigen Schülerinnen und Schüler	1		
	Theoretische Fundierung der Inhalte	1	Teilweise zu schnell	1		
	Organisation	1	Lange Testung	1		
Keine Angaben		8		18		22

Die Korrelation der residualen Lernzuwächse mit den Bewertungsaspekten der Fortbildung in Tabelle 6-12 wiesen keine signifikanten Ergebnisse auf.

Tabelle 6-12: Pilotierung II - Korrelation der Aspekte zur Bewertung der Fortbildung mit den residualen Lernzuwächsen

Korrelation	r_p	p
Residualer Lernzuwachs – Zufriedenheit	.028	.898
Residualer Lernzuwachs – Subjektiver Lernerfolg	.019	.931
Residualer Lernzuwachs – Aktuelle Motivation	.030	.894

Konsequenzen aus den Pilotierungen für die Hauptstudie

Das überarbeitete Messinstrument zur experimentellen Planungskompetenz aus der Pilotierung II konnte aufgrund guter Reliabilitätswerte unverändert in der Haupt- und Follow-Up-Studie eingesetzt werden. Die Struktur, der Inhalt sowie die Beispielexperimente erwiesen sich insgesamt als stimmig, sodass nur marginale Veränderungen vorgenommen wurden. Als weiteres Anwendungsbeispiel wurde der Experimentierkoffer „Faszination der Salze“ mit vier einzelnen Experimenten in die Fortbildung integriert. Dieser enthielt auch das Experiment „Mehrphasiger Cocktail“, welches in der Präpilotierung und den Pilotierungen eingesetzt wurde (4.2.3). Neben der leichten Überarbeitung des Folienlayouts, wurde auf Wunsch der Lehrkräfte die Präsentation des Strukturierungskonzepts mit Unterrichtsbeispielen erweitert.

Aufgrund des Zeitmanagements und der zahlreichen Anmerkungen bezüglich einer zu hohen Testzeit durch die Teilnehmenden in den Feedbackrunden im Anschluss der Fortbildung wurden die drei Bewertungsfragebögen zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg sowie zur Motivation in der Hauptstudie nicht mehr eingesetzt. Somit stand den Lehrkräften mehr Lern- und Experimentierzeit in der Hauptstudie zur Verfügung.

7 Hauptstudie

Fragestellung 2

Kann die Maßnahme einen fachdidaktischen Wissenszuwachs der teilnehmenden Lehrkräfte im Bereich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten fördern?

Alle Antwortalternativen mit einer Trennschärfe unter .20 wurden im Zuge der Reliabilitätsanalyse gestrichen. Die Schätzung der Reliabilität für die verbliebenen 35 Antwortalternativen wies ein akzeptables Cronbachs Alpha von .827 auf (vgl. 4.1.3). Eine Überprüfung der Fragestellung erfolgte mit Hilfe des überarbeiteten fachdidaktischen Tests. Das Messinstrument war dabei inhaltlich identisch zur Pilotierung II. Mit dem Shapiro-Wilk-Test wurde die Normalverteilungsannahme der generierten Daten der Hauptstudie überprüft. Hierfür wurden in der Hauptstudie konsistent die Post-Test-Daten verwendet. Aus den Ergebnissen der Tabelle 7-1 konnte gefolgert werden, dass sowohl die Daten des Gesamttests als auch die Daten der Antwortalternativen mit akzeptablen Trennschärfen nicht normalverteilt waren.

Tabelle 7-1: Hauptstudie - Test auf Normalverteilung

Test	Daten	df	Teststatistik	p	Interpretation
Shapiro-Wilk	Gesamttest	43	.940	.027	signifikant
	Antwortalternativen mit akzeptablen Trennschärfen	43	.910	.003	signifikant

Folglich wurde aufgrund der Verletzung der Normalverteilungsannahme für den Mittelwertvergleich der nonparametrische Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test angewendet. Hierbei konnte ein hoch signifikanter fachdidaktischer Wissenszuwachs mit einer mittleren Effektstärke ($Z = -2.98$, $p = .003$, $r = .45$) ermittelt werden (siehe Abbildung 7-1 und Tabelle 7-2).

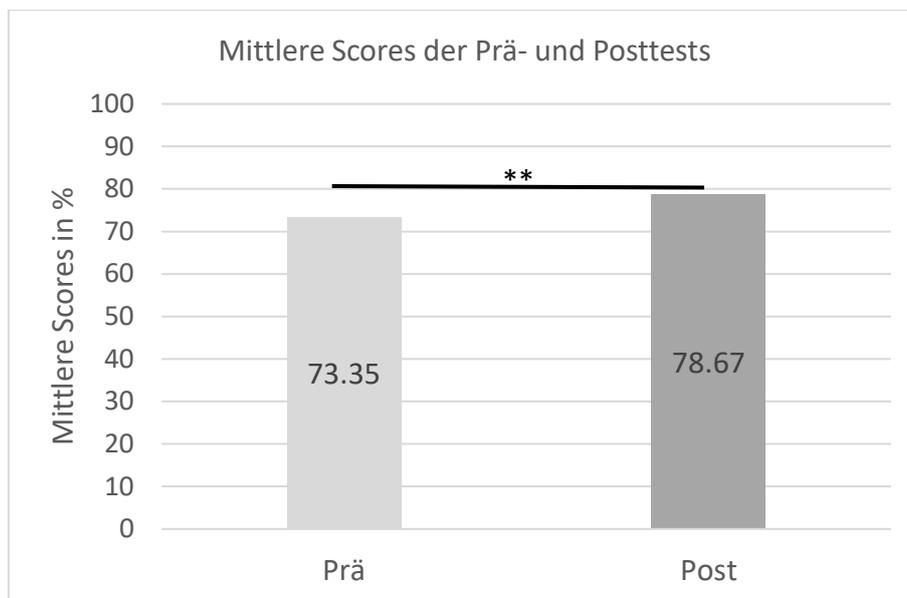


Abbildung 7-1: Hauptstudie - Mittelwerte Prä- und Posttest

Tabelle 7-2: Hauptstudie - Deskriptive Statistiken und Inferenzstatistiken

Deskriptive Statistik	Messzeitpunkt	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>
	Prä	43	73.35	10.70	51.43	94.29
	Post	43	78.67	78.67	40.00	100.00
Inferenzstatistik	Prä-Post-Vergleich Wilcoxon-Test	<i>n</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	
		43	-2.98	.003	.45	

Im Rahmen der Hauptstudie erfolgte drei Monate nach der Maßnahme zudem eine Follow-Up-Testung per Online-Fragebogen. Insgesamt nahmen dabei 14 Lehrkräfte teil. Mittels des Shapiro-Wilk-Tests wurde die Normalverteilungsannahme der generierten Daten ermittelt. Aus der Tabelle 7-3 ist ersichtlich, dass die Daten des Gesamttests und die Daten der Antwortalternativen mit akzeptablen Trennschärfen normalverteilt waren.

Tabelle 7-3: Follow-Up-Studie - Test auf Normalverteilung

Test	Daten	<i>df</i>	Teststatistik	<i>p</i>	Interpretation
Shapiro-Wilk	Gesamttest	14	.901	.117	n. s.
	Antwortalternativen mit akzeptablen Trennschärfen	14	.899	.108	n. s.

Als weitere Voranalyse wies das Ergebnis des Mauchly-Tests in Tabelle 7-4 darauf hin, dass keine Verletzung der Sphärizitätsannahme vorlag.

Tabelle 7-4: Hauptstudie - Mauchly-Test auf Sphärizität

Test	Mauchly-W	Approx. Chi-Quadrat	df	p	Interpretation
Mauchly-Test	.924	.955	2	.62	n. s.

Die einfaktorielle ANOVA mit Messwiederholung ergab für 14 teilnehmende Lehrkräfte einen höchst signifikanten Unterschied zwischen den drei Messungen (Tabelle 7-5) mit einer großen Effektstärke ($F(2,26) = 10.18, p = .001, \eta^2 = .430$).

Tabelle 7-5: Hauptstudie - Deskriptive Statistiken und Inferenzstatistiken für Prä-, Post- und Follow-Up-Test

Deskriptive Statistik	Messzeitpunkt	n	M	SD	Min.	Max.
	Prä	14	70.61	10.48	51.43	85.71
	Post	14	81.02	12.05	48.57	100.00
	Follow-Up	14	80.41	8.88	68.57	97.14
Inferenzstatistik	ANOVA mit Messwertwiederholung	n	F	df	p	η^2
		14	10.18	2, 26	.001	.438

Ein Bonferroni-korrigierter post-hoc Test wies einen hoch signifikanten Unterschied zwischen dem Prä- und Posttest mit einer großen Effektstärke auf ($p = .003, f = .88$). Ebenfalls konnte ein signifikanter Unterschied zwischen dem Prä- und Follow-Up-Test mit einer großen Effektstärke nachgewiesen werden ($p = .016, f = .88$). Somit konnte von einem Lernzuwachs vom Prä- zum Posttest sowie vom Prä- zum Follow-Up-Test ausgegangen werden. Zwischen Post- und Follow-Up-Test wurde kein signifikanter Unterschied beobachtet. Die Ergebnisse deuteten darauf hin, dass das in der Fortbildung erworbene Wissen auch über die Fortbildung hinaus verfügbar war (siehe Abbildung 7-2 und Tabelle 7-6).

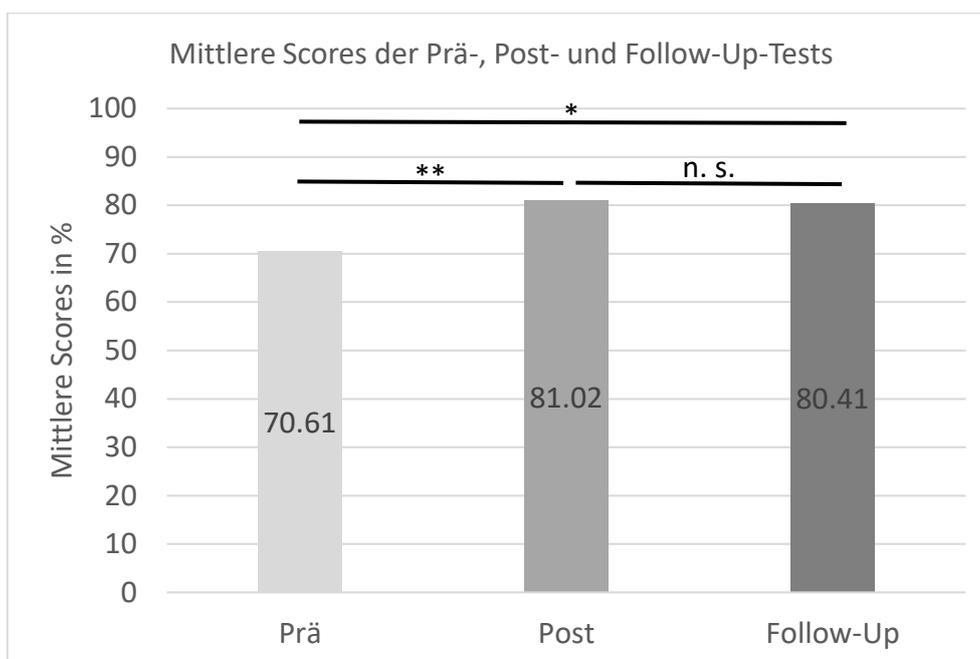


Abbildung 7-2: Hauptstudie - Mittelwerte Prä-, Post- und Follow-Up-Test

Tabelle 7-6: Hauptstudie - Paarweise Vergleiche der Prä-, Post- und Follow-Up-Daten

Test	Messzeitpunkt		Mittlere Differenz	Standardfehler	<i>p</i>
Paarweise Vergleiche	Prä	Post	-10.48	2.46	.003
		Follow-Up	-9.79	2.93	.016
	Post	Follow-Up	1.33	2.36	1.000

Im Zuge der Follow-Up-Studie wurde zusätzlich eine Befragung der Lehrkräfte zur Verwendung der vorgestellten Beispielexperimente sowie zur Umsetzung der Fortbildungsinhalte im Unterricht durchgeführt. Hierbei gaben 50 % der Befragten an, die Anregungen der Maßnahme in ihrem Unterrichten zu nutzen (Abbildung 7-3). Dagegen setzten nur 35,7 % der Teilnehmenden die Beispielmateriale der Fortbildung ein.

Die Aussagekraft dieser Befragung war nicht nur wegen der geringen Teilnehmendenzahl, sondern auch aufgrund der pandemiebedingten Schulschließungen in den Jahren 2020 und 2021, die einen experimentellen Chemieunterricht nicht oder nur stark eingeschränkt zuließen, gering.

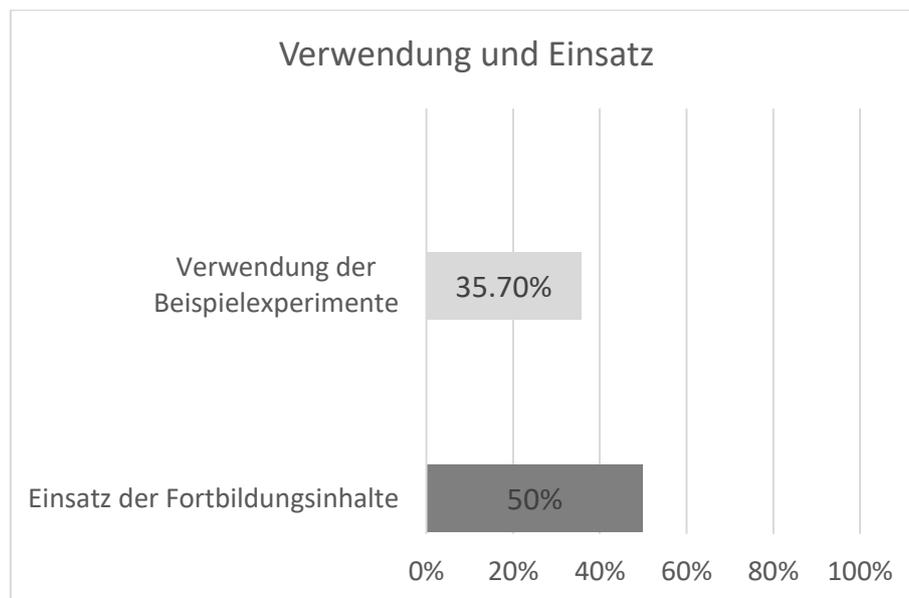


Abbildung 7-3: Follow-Up-Studie - Ergebnisse der Befragung zur Verwendung und Einsatz

Schlussfolgerungen

Güte des Messinstruments

Hypothese 1

Der Test zur experimentellen Planungskompetenz erfasst das fachdidaktische Wissen der Teilnehmenden hinsichtlich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten angemessen.

Die Hypothese 1 kann in zwei Teilhypothesen untergliedert werden, deren Überprüfungen im Folgenden aufgeführt werden.

Hypothese 1.1

Der Test zur experimentellen Planungskompetenz erfasst das fachdidaktische Wissen der Teilnehmenden hinsichtlich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten reliabel.

Die Reliabilitätsanalyse des fachdidaktischen Tests erfolgte mit den Daten der Pilotierungen und der Hauptstudie. Für die Daten des Messinstruments der Pilotierung I konnte eine akzeptable Reliabilität ermittelt werden. Nach der Pilotierung I erfolgte eine Überarbeitung des Messinstruments. Die überarbeitete Version konnte aufgrund guter Reliabilitätswerte sowohl für die Pilotierung II als auch für die Hauptstudie verwendet werden.

Die Hypothese, dass der Test zur experimentellen Planungskompetenz das fachdidaktische Wissen der Teilnehmenden hinsichtlich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten reliabel erfasst, kann bestätigt werden.

Hypothese 1.2

Der Test zur experimentellen Planungskompetenz erfasst das fachdidaktische Wissen der Teilnehmenden hinsichtlich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten valide.

Die Validierung des Tests zur experimentellen Planungskompetenz erfolgte anhand des fachdidaktischen Tests von Backes et al. (2012) im Rahmen eines Studierendenseminars, welches ebenfalls die Planungskompetenz der Teilnehmenden hinsichtlich selbstgesteuerter Experimente schulen sollte (Seiler & Tepner, 2019, 2020). Es konnte eine hoch signifikante, mittelstarke Korrelation festgestellt werden. Dies kann als Hinweis gesehen werden, dass beide Messinstrumente ein ähnliches Konstrukt erfassen. Die Korrelation ist ein Hinweis, dass die Validität des neuentwickelten Tests erfüllt war und beide Fragebögen zwei differenzierbare, aber ähnliche Konstrukte erfassten.

Die Hypothese, dass der Test zur experimentellen Planungskompetenz das fachdidaktische Wissen der Teilnehmenden hinsichtlich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten valide erfasst, kann bestätigt werden.

Fachdidaktische Wissensänderung

Hypothese 2

Die teilnehmenden Lehrkräfte verfügen kurz- und langfristig über ein höheres fachdidaktisches Wissen im Bereich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten als vor der Fortbildung.

Das fachdidaktische Wissen hinsichtlich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten wurde bei den teilnehmenden Lehrkräften zu Beginn, am Ende und in der Hauptstudie zusätzlich drei Monate nach der Fortbildung überprüft. Sowohl in den Pilotierungen als auch in der Hauptstudie konnte ein signifikanter Wissenszuwachs zwischen Prä- und Posttests mit einer mittleren Effektstärke gemessen werden. Während der Befund darauf hindeutete, dass das fachdidaktische Wissen der teilnehmenden Lehrkräfte kurzfristig gesteigert werden kann, zeigte die Follow-Up-Studie, dass der fachdidaktische Wissenszuwachs nachhaltig wirksam sein könnte. Es fanden sich ein höchst signifikanter Lernzuwachs vom Prä- zum Posttest sowie ein signifikanter Lernzuwachs vom Prä- zum Follow-Up-Test. Ein signifikanter Unterschied zwischen Post- und Follow-Up-Test wurde nicht beobachtet, sodass von einem langfristigen Behalten des neu erlernten fachdidaktischen Wissens bezüglich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten ausgegangen werden konnte.

Die Hypothese, dass das fachdidaktische Wissen im Bereich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten kurz- und langfristig verbessert wird, kann in beiden Aspekten bestätigt werden.

Die Ergebnisse stehen im Einklang mit der Studie nach Schmitt (2016), die im Zuge einer Interventionsmaßnahme ebenfalls Zuwächse im experimentell-fachdidaktischen Wissen erzielen konnte. Ein weiterer Vergleich kann mit der Lehrkräftefortbildung nach Telser

(2019) zur Förderung der experimentellen Kompetenz gezogen werden. Hierbei konnte zwar kein Lernzuwachs hinsichtlich des experimentell-fachdidaktischen Wissens erfasst werden, jedoch wurde ein nachhaltiger Wissensaufbau im Fachwissen gemessen und die experimentelle Kompetenz der Lehrkräfte im Verlauf der Fortbildung verbessert. In einem Studierendenseminar, das mit einem ähnlichen Konzept die Planungskompetenz hinsichtlich selbstgesteuerter Experimente fördern sollte, zeigten sich auch Hinweise für einen fachdidaktischen Wissenszuwachs bei den Teilnehmenden (Seiler & Tepner, 2020).

Bewertung der Lehrkräftefortbildung

Hypothese 3

Die Bewertungen der Teilnehmenden bezüglich der Lehrkräftefortbildung sind positiv.

Am Ende der Lehrkräftefortbildung bewerteten die Teilnehmenden diese mittels dreier Fragebögen. Die Bewertung erfolgte unter den Aspekten Zufriedenheit mit der Maßnahme, subjektiver Lernerfolg sowie aktuelle Motivation zum Einsatz der Fortbildungsinhalte und -materialien im Unterricht. In allen drei Skalen konnten hohe Werte für die Maße der zentralen Tendenz festgestellt werden. Zusätzlich tendierten die Lehrkräfte bei den offenen Fragen zur Zufriedenheit zu primär positiven Bemerkungen. In der Gesamtbetrachtung fanden sich somit Hinweise, dass die Lehrkräftefortbildung überwiegend positiv durch die Teilnehmenden beurteilt worden war.

Die Hypothese, dass eine positive Bewertung der Fortbildung durch die Lehrkräfte vorliegt, kann bestätigt werden.

Die positiven Ergebnisse lassen sich mit den Einflussfaktoren für effektive Lehrkräftefortbildungen im naturwissenschaftlichen Bereich, die im Zuge der Konzeption der Maßnahme beachtet wurden, begründen. Es wurde entsprechend themakonform offene Experimentierformen erläutert und die Teilnehmenden aktiv z. B. in den Experimentierphasen eingebunden (Capps et al., 2012; Penuel et al., 2007; Ropohl et al., 2016). Wie von den Lehrkräften bevorzugt, lernten diese in den praktischen Arbeitsphasen nicht nur neue lehrplankonforme Experimente kennen, sondern konnten durch Mitnahme der Materialien, diese in ihrem Unterricht einsetzen (Daus et al., 2004).

8 Diskussion und Ausblick

8.1 Forschungsdesign und Methode

Im Zuge der Studie wurde begleitend zur Fortbildung in den Pilotierungen mit einem Prä-Post-Design und in der Hauptstudie mit einem Prä-Post-Follow-Up-Design das fachdidaktische Wissen der Teilnehmenden bezüglich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten empirisch mit einem Test zur experimentellen Planungskompetenz überprüft. Der Test schien aufgrund der guten Reliabilitätswerte und der Prüfung der Validität zur Testung des fachdidaktischen Wissens hinsichtlich selbstgesteuerter Experimente geeignet zu sein. Zudem zeigten die Berechnungen der Schwierigkeitsindizes der einzelnen Antwortalternativen, dass das Messinstrument auch in den Extrembereichen des zu erfassenden Konstrukts differenzieren konnte. Auch die Wright-Map der Rasch-Analyse deutete hierauf hin. Allerdings könnten die Itemschwierigkeiten den Personenfähigkeiten noch besser entsprechen, indem im oberen Bereich der Skala mehr Items vorhanden wären. Eine Erhöhung der Gesamtzahl der Items war aus zeitlichen und motivationalen Gründen nicht sinnvoll. Insgesamt schien der konzipierte Test geeignet zu sein, dass Wissen in einem breiten Bereich von Personenfähigkeiten erfassen zu können.

Sowohl in den Pilotierungen als auch in der Hauptstudie mit der zusätzlichen Follow-Up-Testung konnten signifikante Lernzuwächse mit mittleren Effektstärken bezüglich des fachdidaktischen Wissens erfasst werden. Durch eine fehlende Kontrollgruppe konnte jedoch der Lernzuwachs nicht ausschussfrei nur mit der Teilnahme an dieser Fortbildung begründet werden. Außerdem ist zu beachten, dass die mehrmalige Bearbeitung des fachdidaktischen Tests zu Lerneffekten führen könnte. Dem ist entgegenzuhalten, dass die Lehrkräfte keine Lösung des fachdidaktischen Tests im Anschluss der Fortbildung erhielten und in dem Follow-Up-Test keine Leistungssteigerung gegenüber dem Post-Test zu erkennen war. Zusätzlich ist das selbstgesteuerte Experimentieren zum jetzigen Zeitpunkt unterrepräsentiert im deutschen naturwissenschaftlichen Unterricht (2.4.4.3), sodass nur mit geringen Lerneffekten außerhalb der Fortbildung im Hinblick auf den Follow-Up-Test, der drei Monate nach der Maßnahme erfolgte, zu rechnen war.

In der Follow-Up-Studie wurden signifikante Lernzuwächse von der Prä-zur Post- sowie von Prä- zur Follow-Up-Testung erfasst. Ein signifikanter Unterschied zwischen dem Post- und Follow-Up-Test konnte jedoch bei den teilnehmenden Lehrkräften nicht beobachtet werden. Dies könnte ein Hinweis auf das langfristige Behalten des neu erlernten fachdidaktischen Wissens bezüglich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten sein. Hierbei ist anzumerken, dass die Stichprobe der Follow-Up-Studie nur aus 14 Lehrkräften bestand und deutlich mehr Probanden benötigt würden. Somit ist nur eine begrenzte Aussage über das langfristige Behalten des neu erlernten fachdidaktischen Wissens im Zuge der Maßnahme möglich. Eine größere Stichprobe im Zuge der Follow-Up-Studie wäre wünschenswert und sinnvoll gewesen. Ein Grund für die relativ geringe Teilnahmebereitschaft kann in der pandemiebedingten Situation im Jahr 2020 und 2021 liegen. Zudem wurde der Follow-Up-Test mittels eines Online-Fragebogens erhoben, wodurch die Bereitschaft zur Teilnahme geringer sein könnte.

Hinsichtlich der Stichprobe ist zu beachten, dass die Lehrkräfte freiwillig an der Fortbildung teilnahmen und gezielt das Fortbildungsthema auswählten, sodass von einer positiven Vorauswahl gesprochen werden muss. Aufgrund dessen könnten die Lehrkräfte gegenüber dem Einsatz von Experimentieren im Chemieunterricht positiv eingestellt sein. Dies kann auch das relativ hohe Vorwissen seitens der Teilnehmenden vor der Fortbildung erklären.

Zusätzlich erfolgte bei der Follow-Up-Testung eine Befragung der Teilnehmenden zur Verwendung der vorgestellten Beispielexperimente sowie zur Umsetzung der Fortbildungsinhalte im eigenen Unterricht. Aufgrund der pandemiebedingten Schließungen der bayerischen Schulen in den Jahren 2020 und 2021 konnten viele Lehrkräfte zum Zeitpunkt der Testung keine Experimente im Unterricht durchführen, sodass dies das Antwortverhalten der Befragten vermutlich beeinflusst hatte. Somit weist diese Befragung nur eine begrenzte Aussagekraft auf.

Ob die Lehrkräftefortbildung eine Verhaltensänderung bezüglich der Experimentplanung bei den Teilnehmenden auslöste, sodass die Lehrkräfte nach der Fortbildung vermehrt selbstgesteuerte Experimente in ihrem Unterricht einsetzten, konnte mit der Konzeption dieser Studie nicht überprüft werden. Hierzu wäre eine langfristige Begleitung mit Befragungen der Lehrkräfte und Unterrichtsbeobachtungen notwendig. Diesem Desiderat könnte mit einer Folgestudie Rechnung getragen werden.

8.2 Inhalt und Organisation

Die Fortbildungskonzeption sowie -inhalte wurden durch die Lehrkräfte mehrheitlich positiv bewertet. Besonders die selbstgesteuerten Beispielexperimente sowie das Strukturierungskonzept mit den praktischen Anregungen zur Umsetzung des selbstgesteuerten Experimentierens im Unterricht wurden hervorgehoben. Die Testung aller Beispielexperimente mit Schülerinnen und Schüler im Vorfeld hätte eventuell die Akzeptanz bezüglich der schulischen Umsetzbarkeit weiter steigern können.

Zur Generierung der Stichprobe wurde auf eine Mischung aus universitären, regionalen sowie schulinternen Fortbildungen zurückgegriffen. Die Weiterbildungsmaßnahmen wurden dadurch von Lehrkräften aus allen bayerischen Regierungsbezirken besucht. An allen Fortbildungen konnten die benötigten Daten generiert werden.

Die schulinternen Fortbildungen stellten zwar einen deutlich höheren Organisationsaufwand dar als an der Universität und aufgrund von schulinternen Verpflichtungen oder Erkrankungen fanden einige Fortbildungen nur mit wenigen Teilnehmenden statt. Dennoch konnten mittels der schulinternen Fortbildungen auch tendenziell fortbildungspassivere Lehrende gewonnen werden. Für zukünftige Lehrkräftefortbildungen empfiehlt sich ein ähnliches Vorgehen bezüglich des Fortbildungsformats.

Die Testdauer betrug laut Fortbildungsplan insgesamt 45 Minuten und wurde im Rahmen der Evaluation trotz der Aufteilung der Gesamtzeit in Prä- und Post-Testung als zu zeitintensiv kritisiert. Wird die Testzeit in Bezug auf die gesamte Fortbildungsdauer genommen, ergab sich, dass die Testdauer 15 % der gesamten Zeit einnahm. Diese Testdauer sollte einen akzeptablen Kompromiss zwischen neuem Input durch die Fortbildung und

Testdauer darstellen. Zukünftig könnte der Prä-Test im Vorfeld per Online-Erhebung durchgeführt werden. Dadurch könnten allerdings die Durchführungsobjektivität reduziert und die Motivation zur Teilnahme an der Fortbildung eventuell verringert werden.

9 Zusammenfassung

Das selbstgesteuerte Experimentieren ist sowohl in den amerikanischen Bildungsstandards (National Research Council, 2000, 2012, 2015) als auch in den deutschen Bildungsstandards (KMK, 2005b, 2020) ein zentraler Bestandteil der naturwissenschaftlichen Schulausbildung. Trotz der Kritik, dass offene Experimentierformen zu Überforderungen führen könnten (Kirschner et al., 2006), weisen empirische Studien darauf hin, dass das selbstgesteuerte Experimentieren sich u. a. positiv auf das prozedurale Wissen und den Fachwissenszuwachs der Lernenden auswirken kann (Blanchard et al., 2010; Bunterm et al., 2014; Minner et al., 2010).

Im Gegensatz zu den Vorgaben der Bildungsstandards findet das Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht an deutschen Schulen zumeist in Form von instruktionsorientierten Schülerexperimenten oder Demonstrationsexperimenten statt (Roth et al., 2006; Seidel et al., 2006; Tesch & Duit, 2004). Diese Befunde bilden auch die Analysen der Unterrichtsmuster im Zuge der PISA-Studie 2015 ab, bei denen nur 19,8 % der befragten deutschen Lernenden angeben, einen naturwissenschaftlichen Unterricht mit Möglichkeiten zum eigenständigen Planen von Experimenten zu erhalten (Schiepe-Tiska, Schmidtner et al., 2016).

Um den Anteil selbstgesteuerter Experimente im Chemieunterricht erhöhen zu können, wurde im Rahmen dieses Forschungsvorhabens eine Fortbildung zur praxisorientierten Planung von selbstgesteuerten Experimenten im Chemieunterricht für Realschul- sowie Gymnasiallehrkräfte entwickelt. Die Fortbildungsmaßnahme intendierte dabei die Förderung der Komponenten Planung und Reflexion des sog. enacted PCK (ePCK) im „Refined Consensus Modell“ nach Carlson et al. (2019). Zur Unterstützung der Lehrkräfte bei der Planung von offenen Experimenten wurde im Zuge der Fortbildung ein innovatives und literaturbasiertes Strukturierungskonzept vorgestellt, mit dem die Teilnehmenden einerseits selbstgesteuerte Experimente planen konnten, andererseits bereits bestehende geschlossene Experimente zu Experimenten mit beliebigen Öffnungsgraden modifizieren konnten (Ehlert & Tepner, 2020). Zusätzlich erhielten die Lehrkräfte im Zuge der Fortbildung die Gelegenheit, selbstgesteuerte Beispiellexperimente mit verschiedenen Öffnungsgraden kennenzulernen und auszuprobieren.

Bei der Konzeption der Fortbildungsmaßnahme wurden Faktoren für effektive naturwissenschaftlich-didaktische Lehrkräftefortbildungen beachtet. Diese beinhalteten u. a. die Einbindung der Teilnehmenden in die praktische Experimentierphasen und einen direkten Praxisbezug zum Unterricht (Capps et al., 2012; Darling-Hammond & McLaughlin, 2011; Loucks-Horsley, 2010).

Zur Erfassung des fachdidaktischen Wissens hinsichtlich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten der teilnehmenden Lehrkräfte wurde ein neues Messinstrument entwickelt. Dieses umfasste in der finalen Version insgesamt 18 Fragen, die auf die vermittelten Fortbildungsinhalte zugeschnitten waren und literaturbasiert entwickelt worden waren. In jedem Item wurde eine konkrete Experimentiersituation aus dem Unterricht dargestellt und die Probanden konnten aus jeweils vier Handlungsoptionen per Multiple-Choice–Multiple-Select auswählen. Die Güte des Messinstruments wurde im Zuge der

Pilotstudien mit 57 Probanden hinsichtlich der Reliabilität überprüft und weiterentwickelt (Forschungsfrage 1). Die Reliabilitätsanalyse zeigte, dass die finale Version des Messinstruments in der Hauptstudie mit einem Cronbachs Alpha von .827 reliabel zu sein schien (Forschungsfrage 1.1). Die Validierung des Messinstruments erfolgte anhand des fachdidaktischen Tests von Backes et al. (2012) im Rahmen eines Studierendenseminars. Das Seminar nach Seiler und Tepner (2019) schulte mittels eines vergleichbaren Konzepts die Planungskompetenz der Teilnehmenden hinsichtlich selbstgesteuerter Experimente. Auch die Ergebnisse dieser Validierungsstudie wiesen darauf hin, dass der Test zur experimentellen Planungskompetenz valide zu sein schien.

Die Analyse der Schwierigkeitsindizes zeigte, dass die meisten Fragen einen akzeptablen Schwierigkeitsindex zwischen 20 % und 80 % aufwiesen. Dennoch hatten einige Antwortalternativen zur Differenzierung von leistungsstarken oder -schwachen Probanden einen Schwierigkeitsindex unter 20 % bzw. über 80 %.

Die Wirksamkeit der Fortbildung wurde anhand der ersten beiden Evaluationsebenen nach Lipowsky (2010) überprüft. Hierbei sollte auf der ersten Ebene eine positive Beurteilung der Maßnahme durch die Teilnehmenden erfolgen und auf der zweiten Ebene ein Lernzuwachs hinsichtlich des Professionswissens der teilnehmenden Lehrkräfte erkennbar sein.

Die Analyse des fachdidaktischen Wissens der teilnehmenden Lehrkräfte im Verlauf der Hauptstudie belegte, dass die 43 Fortbildungsteilnehmenden im Prä-Post-Vergleich einen hoch signifikanten Lernzuwachs mit einer mittleren Effektstärke erreichten ($Z = -2.98$, $p = .003$, $r = .45$, Forschungsfrage 2).

An der Online-Follow-Up-Testung drei Monate nach der Fortbildung nahmen insgesamt vierzehn Lehrkräfte teil. Eine einfaktorielle rmANOVA ergab einen hoch signifikanten Unterschied zwischen den drei Messungen mit einer großen Effektstärke ($F(2,26) = 10.18$, $p = .001$, $\eta^2 = .430$). Ein Bonferroni korrigierter post-hoc Test wies einen hoch signifikanten Unterschied zwischen dem Prä- und Posttest mit einer großen Effektstärke ($p = .003$, $f = .88$) und einen signifikanten Unterschied mit einer großen Effektstärke zwischen Prä- und Follow-Up-Test ($p = .016$, $f = .88$) auf. Ein signifikanter Unterschied zwischen dem Post- und Follow-Up-Test konnte hingegen nicht erfasst werden. Dieser Befund war ein Indiz für das langfristige Behalten des neu erlernten fachdidaktischen Wissens.

Die Bewertung der Fortbildungsmaßnahme erfolgte im Zuge der Pilotierungen mittels der Fragebögen zur Zufriedenheit mit der Fortbildung, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation hinsichtlich des Einsatzes der Fortbildungsmaterialien sowie -inhalte (Forschungsfrage 3). Die Fragebögen beinhalteten dabei eine Likert-Skala, die von 5 = *sehr zutreffend* bis 1 = *sehr unzutreffend* reichte. In allen drei Aspekten konnten in den Pilotierungen Mediane über 4.0 erreicht werden, sodass dies ein Hinweis für eine im Allgemeinen positive Bewertung der Lehrkräftefortbildung darstellt.

Aufgrund der kurz- sowie langfristigen Lernzuwächse der Teilnehmenden hinsichtlich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten und der positiven Bewertung der Maßnahme seitens der Lehrkräfte, konnte das Fortbildungsprojekts in der Gesamtbetrachtung

positiv eingeschätzt werden. Der Test zur experimentellen Planungskompetenz erfüllte im Hinblick auf die Reliabilität, die Validität und die Objektivität die Gütekriterien. Somit konnten alle aufgestellten Hypothesen bestätigt werden.

Eine langfristige Verhaltensänderung der Lehrkräfte zur Implementierung des selbstgesteuerten Experimentierens in ihren Unterricht und die Auswirkung auf Schülerebene könnte in weiteren Studien untersucht werden.

10 Literaturverzeichnis

- Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D. & Tuan, H. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88(3), 397–419.
- Abdullah, M., Mohamed, N. & Ismail, Z. H. (2009). The effect of an individualized laboratory approach through microscale chemistry experimentation on students' understanding of chemistry concepts, motivation and attitudes. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 10(1), 53–61.
- Abell, S. K. (2007). Research on science teachers' knowledge. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of research on science education* (S. 1105–1149). Routledge, Taylor & Francis Group.
- Aggarwal, B. B., Sundaram, C., Malani, N. & Ichikawa, H. (2007). Curcumin: the Indian solid gold. *Advances in experimental medicine and biology*, 595, 1–75.
- Aichholzer, J. (2017). *Einführung in lineare Strukturgleichungsmodelle mit Stata*. Springer VS.
- Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J. & Tenenbaum, H. R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology*, 103(1), 1–18.
- Almuntasheri, S., Gillies, R. & Wright, T. (2016). The Effectiveness of a Guided Inquiry-based, Teachers' Professional Development Programme on Saudi Students' Understanding of Density. *Science Education International*, 27(1), 16–39.
- Altrichter, H. (2010). Lehrerfortbildung im Kontext von Veränderungen im Schulwesen. In F. H. Müller, A. Eichenberger, M. Lüders & J. Mayr (Hrsg.), *Lehrerinnen und Lehrer lernen: Konzepte und Befunde zur Lehrerfortbildung*. Waxmann.
- American Psychological Association. (2020). *Publication manual of the American Psychological Association. (2020): The official guide to APA style (7th ed.)*. American Psychological Association.
- Anderson, R. D. (2002). Reforming Science Teaching: What Research Says About Inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), 1–12.
- Angeli, C., Valanides, N. & Christodoulou, A. (2015). Theoretical Considerations of Technological Pedagogical Content Knowledge. In M. C. Herring, P. Mishra & M. J. Koehler (Hrsg.), *Handbook of technological pedagogical content knowledge for educators* (S. 11–32). Routledge.
- Apelblat, A. & Barthel, J. (1991). Conductance Studies on Aqueous Citric Acid. *Zeitschrift für Naturforschung A*, 46(1-2).
- Arantika, J., Saputro, S. & Mulyani, S. (2019). Effectiveness of guided inquiry-based module to improve science process skills. *Journal of Physics: Conference Series*, 1157, 42019.

- Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2014). Schüler als Forscher – Experimentieren kompetenzorientiert unterrichten und beurteilen. *Mathematisch und naturwissenschaftlicher Unterricht (MNU)*(67), 83–91.
- Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2017). Scaffolding beim Forschenden Lernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 21–37.
- Arnold, K.-H. & Koch-Priewe, B. (2010). Traditionen der Unterrichtsplanung in Deutschland. *Bildung und Erziehung*, 63(4), 401–416.
- Arthur, W., Bennett, W., Edens, P. S. & Bell, S. T. (2003). Effectiveness of training in organizations: a meta-analysis of design and evaluation features. *Journal of Applied Psychology*, 88(2), 234–245.
- Asendorpf, J. & Neyer, F. J. (2012). *Psychologie der Persönlichkeit: Mit 110 Tabellen* (5. Aufl.). *Springer-Lehrbuch*. Springer-Medizin.
- Atkins, P. W., Paula, J. de & Bär, M. (2013). *Physikalische Chemie* (5. Aufl.). *Wiley VCH Lehrbuchkollektion 1*. Wiley-VCH Verl.
- Babad, E. (2007). *Teachers' Nonverbal Behavior and its Effects on Students*. Springer Netherlands.
- Bach, A. (2013). *Kompetenzentwicklung im Schulpraktikum: Ausmaß und zeitliche Stabilität von Lerneffekten hochschulischer Praxisphasen* (1. Aufl.). *Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie: Bd. 87*. Waxmann.
- Backes, A., Sumfleth, E. & Tepner, O. (2012). *Test zum experimentell-fachdidaktischen Wissen von Chemielehrkräften* [unveröffentlicht]. Essen.
- Baer, M., Kocher, M., Wyss, C., Guldemann, 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.
- Bakker, A. B. (2005). Flow among music teachers and their students: The crossover of peak experiences. *Journal of Vocational Behavior*, 66(1), 26–44.
- Bamberger, R. & Vanecek, E. (1984). *Lesen-Verstehen-Lernen-Schreiben: Die Schwierigkeitsstufen von Texten in deutscher Sprache*. Jugend und Volk.
- Banchi, H. & Bell, R. (2008). The many levels of inquiry. *Science and Children*, 46(2), 26–29.
- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*, 84(2), 191–215 (Psychological Review, 84(2), 191-215).
- Bangert-Drowns, L., Kulik, C., Kulik, A., Morgan, M. T. (1991). The Instructional Effect of Feedback in Test-like Events. *Review of Educational Research*, 61(2), 213. <https://doi.org/10.2307/1170535>
- Barzel, B., Reinoffer, B. & Schrenk, M. (2012). Das Experimentieren im Unterricht. In W. Rieß, M. A. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht: Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 103–127). Waxmann.

- Battino, R. & Letcher, T. M. (2001). An Introduction to the Understanding of Solubility. *Journal of Chemical Education*, 78(1), 103.
- Baumert, J. (Hrsg.). (2012). *PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräfte. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9, 469–520.
- Baumert, J. & Kunter, M. (2011). Das Kompetenzmodell von COACTIV. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 29–54). Waxmann.
- Baumert, J. & Lehmann, R. (1997). *TIMSS - Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich: Deskriptive Befunde*. VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Baumert, J., Stanat, P. & Watermann, R. (Hrsg.). (2006). *Herkunftsbedingte Disparitäten im Bildungswesen: Differenzielle Bildungsprozesse und Probleme der Verteilungsgerechtigkeit: Vertiefende Analysen im Rahmen von PISA 2000* (1. Aufl.). VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.
- Baur, A. (2018). Fehler, Fehlkonzepte und spezifische Vorgehensweisen von Schülerinnen und Schülern beim Experimentieren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24(1), 115–129.
- Baur, A. & Emden, M. (2020). How to open inquiry teaching? An alternative teaching scaffold to foster students' inquiry skills. *Chemistry Teacher International*.
- Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst. (2016). *LehrplanPLUS Realschule: Lehrplan für die bayerische Realschule*.
- Bechmann, W. & Bald, I. (2016). *Einstieg in die Physikalische Chemie für Nebenfächler* (5. Aufl.). *Studienbücher Chemie*. Springer Spektrum.
- Becker, M., Lüdtke, O., Trautwein, U. & Baumert, J. (2006). Leistungszuwachs in Mathematik. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 20, 233–242.
- Belitz, H.-D., Grosch, W. & Schieberle, P. (2008). *Lehrbuch der Lebensmittelchemie: Mit 634 Tabellen*. *Springer-Lehrbuch*. Springer.
- Bell, R. L., Smetana, L. & Binns, I. (2005). Simplifying inquiry instruction. *The Science Teacher*, 72(7), 30–33.
- Bell, T., Urhahne, D., Schanze, S. & Ploetzner, R. (2010). Collaborative Inquiry Learning: Models, tools, and challenges. *International Journal of Science Education*, 32(3), 349–377.
- Benedix, R. (2015). *Bauchemie: Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten* (6. Aufl.). *Lehrbuch*. Springer Vieweg.
- Berg, C. A. R., Bergendahl, V. C. B., Lundberg, B. & Tibell, L. (2003). Benefiting from an open-ended experiment? A comparison of attitudes to, and outcomes of, an expository versus an open-inquiry version of the same experiment. *International Journal of Science Education*, 25(3), 351–372. <https://doi.org/10.1080/09500690210145738>

- Bernabé-Pineda, M., Ramírez-Silva, M. T., Romero-Romo, M., González-Vergara, E. & Rojas-Hernández, A. (2004). Determination of acidity constants of curcumin in aqueous solution and apparent rate constant of its decomposition. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 60(5), 1091–1097.
- Betzler, H. J. (2019). *Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU): Empfehlung der Kultusministerkonferenz*. Beschluss der KMK vom 09.09.1994 i. d. F. vom 26. Februar 2016.
- Bi, X., Zhang, J., Chen, C [Changsheng], Di Zhang, Li, P. & Ma, F. (2014). Anthocyanin contributes more to hydrogen peroxide scavenging than other phenolics in apple peel. *Food Chemistry*, 152, 205–209.
- Binnewies, M. (2016). *Allgemeine und Anorganische Chemie* (3. Aufl.). Springer Spektrum.
- 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.
- Blank, R. K. & las Alas, N. de. (2009). *Effects of teacher professional development on gains in student achievement: How meta-analysis provides evidence useful to education leaders*. Council of Chief State School Officers.
- Blömeke, S. (2004). Empirische Befunde zur Wirksamkeit der Lehrerbildung. In S. Blömeke, P. Reinhold, G. Tulodziecki & J. Wildt (Hrsg.), *Handbuch Lehrerbildung* (S. 59–91). Klinkhardt.
- Blömeke, S., Gustafsson, J.-E. & Shavelson, R. J. (2015). Beyond Dichotomies. *Zeitschrift für Psychologie*, 223(1), 3–13.
- Blömeke, S., Kaiser, G., König, J. & Jentsch, A. (2020). Profiles of mathematics teachers' competence and their relation to instructional quality. *ZDM*, 52(2), 329–342. <https://doi.org/10.1007/S11858-020-01128-Y> (ZDM, 52(2), 329-342).
- Blömeke, S., Kaiser, G., Lehmann, R., König, J., Döhrmann, M., Buchholtz, C. & Hacke, S. (2009). TEDS-M: Messung von Lehrerkompetenzen im internationalen Vergleich. In O. Zlatkin-Troitschanskaia (Hrsg.), *Beltz Bibliothek. Lehrerprofessionalität: Bedingungen, Genese, Wirkungen und ihre Messung* (S. 181–209). Beltz.
- Blömeke, S., König, J., Suhl, U., Hoth, J. & Döhrmann, M. (2015). Wie situationsbezogen ist die Kompetenz von Lehrkräften? Zur Generalisierbarkeit der Ergebnisse von videobasierten Performanztests. *Zeitschrift für Pädagogik*, 61(3), 310–327.
- 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* [Dissertation, Wilhelms-Universität Münster, Münster]. GBV Gemeinsamer Bibliotheksverbund.
- Borko, H. & Putnam, R. T. (op. 1996). Learning to teach. In D. C. Berliner & R. C. Calfee (Hrsg.), *Handbook of educational psychology: A projet of division 15, the division of*

- educational psychology of the American psychological association* (S. 673–708). Macmillan Library Reference USA.
- Börlin, J. (2014). *Das Experiment Als Lerngelegenheit: Vom Interkulturellen Vergleich des Physikunterrichts zu Merkmalen seiner Qualität*. Zugl.: Basel, Univ., Diss., 2012. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 132*. Logos Verlag Berlin.
- Borowski, A., Neuhaus, B. J., Tepner, O., Wirth, J., Fischer, H. E., Leutner, D., Sandmann, A. & Sumfleth, E. (2010). Professionswissen von Lehrkräften in den Naturwissenschaften (ProwiN): Kurzdarstellung des BMBF-Projekts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 341–349.
- Bradley, J. D. (1999). Hands-on practical chemistry for all. *Pure and Applied Chemistry*, 71(5), 817–823.
- Brandt, H. & Moosbrugger, H. (2020a). Planungsaspekte und Konstruktionsphasen von Tests und Fragebogen. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (3. Aufl., S. 39–66). Springer.
- Brandt, H. & Moosbrugger, H. (2020b). Planungsaspekte und Konstruktionsphasen von Tests und Fragebogen. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (3. Aufl., S. 39–66). Springer.
- Bromme, R. (1997). Kompetenzen, Funktionen und unterrichtliches Handeln des Lehrers. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie Praxisgebiete Pädagogische Psychologie: Bd. 3. Enzyklopädie der Psychologie* (S. 177–212). Hogrefe.
- Brookhart, S. M. & Freeman, D. J. (1992). Characteristics of Entering Teacher Candidates. *Review of Educational Research*, 62(1), 37–60 (Review of Educational Research, 62(1), 37-60).
- Brophy, J. (2008). *Teaching: Educationl Practice Series, Vol. 1*. International Academy of Education & International Bureau of Education.
- Brosius, F. (2018). *SPSS: Umfassendes Handbuch zu Statistik und Datenanalyse* (8. Aufl.). mitp Professional. MITP.
- Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M. & Stoltzfus, M. W. (2018). *Pearson Studium - Chemie. Chemie: Studieren kompakt* (W. Weigand, Hg.). Pearson.
- Brühwiler, C., Helmke, A. & Schrader, F.-W. (2017). Determinanten der Schulleistung. In M. K. Schweer (Hrsg.), *Lehrer-Schüler-Interaktion. Schule und Gesellschaft: Inhaltfelder, Forschungsperspektiven und methodische Zugänge* (S. 291–314). Springer VS.
- Brunner, M., Kunter, M. & Krauss, S. (2006). Die professionelle Kompetenz von Mathematiklehrkräften: Konzeptualisierung, Erfassen und Bedeutung für den Unterricht: Eine Zwischenbilanz des COACTIV-Projekts. In M. Prenzel & L. Allolio-Näcke (Hrsg.), *Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule: Abschlussbericht des DFG-Schwerpunktprogramms* (S. 54–82). Waxmann.
- Buck, L., Bretz, S. & Towns, M. (2008). Characterizing the Level of Inquiry in the Undergraduate Laboratory. *Journal of College Science Teaching*(1), 52–58.

- Budischewski, K. & Günther, K. (2020). *SPSS für Einsteiger: Einführung in die Statistiksoftware für die Psychologie : mit Online-Material* (2. Auflage). Beltz Verlag.
- Bühl, A. (2019). *SPSS: Einführung in die moderne Datenanalyse ab SPSS 25* (16. Aufl.). Pearson Studium - Scientific Tools. Pearson.
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion* (3. Aufl.). PS Psychologie. Pearson Studium.
- Bühner, M. & Ziegler, M. (2017). *Statistik Für Psychologen und Sozialwissenschaftler: Grundlagen und Umsetzung Mit SPSS und R* (2. Aufl.). Pearson Studium - Psychologie Ser. Pearson Education Deutschland GmbH.
- Bunterm, T., Lee, K., Ng Lan Kong, J., Srikoon, S., Vangpoomyai, P., Rattanaovongsa, J. & Rachahoon, G. (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.
- Butler, D. L. & Winne, P. H. (1995). Feedback and Self-Regulated Learning: A Theoretical Synthesis. *Review of Educational Research*, 65(3), 245–281.
- Bybee, R. W. (2006). Scientific Inquiry And Science Teaching. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Hrsg.), *Science & Technology Education Library: Bd. 25. Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education* (Bd. 25, S. 1–14). Springer.
- Calderhead, J. (op. 1996). Teachers: Beliefs and knowledge. In D. C. Berliner & R. C. Calfee (Hrsg.), *Handbook of educational psychology: A projet of division 15, the division of educational psychology of the American psychological association* (S. 709–725). Macmillan Library Reference USA.
- 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.
- Capps, D. K., Crawford, B. A. & Constat, 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.
- Carlson, J., Daehler, K. R., Alonzo, A. C., Barendsen, E., Berry, A., Borowski, A., Carpendale, J., Kam Ho Chan, K., Cooper, R., Friedrichsen, P., Gess-Newsome, J., Henze-Rietveld, I., Hume, A., Kirschner, S., Liepertz, S., Loughran, J., Mavhunga, E., Neumann, K., Nilsson, P., . . . Wilson, C. D. (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* (S. 77–94). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2_2
- Carmel, J. H., Herrington, D. G., Posey, L. A., Ward, J. S., Pollock, A. M. & Cooper, M. M. (2019). Helping Students to “Do Science”: Characterizing Scientific Practices in General Chemistry Laboratory Curricula. *Journal of Chemical Education*, 96(3), 423–434.

- Casale, G., Strauß, S., Hennemann, T. & König, J. (2016). Wie lässt sich Klassenführungsexpertise messen? Überprüfung eines videobasierten Erhebungsinstruments für Lehrkräfte unter Anwendung der Generalisierbarkeitstheorie. *Empirische Sonderpädagogik*(2), 119–139.
- Castañeda-Ovando, A., Pacheco-Hernández, M. d. L., Páez-Hernández, M. E., Rodríguez, J. A. & Galán-Vidal, C. A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, 113(4), 859–871.
- Castéra, J., Marre, C. C., Yok, M. C. K., Sherab, K., Impedovo, M. A., Sarapuu, T., Pedregosa, A. D., Malik, S. K. & Armand, H. (2020). Self-reported TPACK of teacher educators across six countries in Asia and Europe. *Education and Information Technologies*, 25(4), 3003–3019 (Education and Information Technologies, 25(4), 3003–3019).
- Chinn, C. A. & Brewer, W. F. (1993). The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition: A Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. *Review of Educational Research*, 63(1), 1–49.
- 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://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/sce.10001>
- Ciriminna, R., Fidalgo, A., Danzi, C., Timpanaro, G., Ilharco, L. M. & Pagliaro, M. (2018). Betanin: A Bioeconomy Insight into a Valued Betacyanin. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(3), 2860–2865.
- Clarke, D. & Hollingsworth, H. (2002). Elaborating a model of teacher professional growth. *Teaching and Teacher Education*, 18.
- Cleff, T. (2019). *Angewandte Induktive Statistik und Statistische Testverfahren: Eine computergestützte Einführung mit Excel, SPSS und Stata* (1. Auflage 2019). Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-8349-6973-6>
- Cochran-Smith, M. & Lytle, S. L. (1999). Relationships of Knowledge and Practice: Teacher Learning in Communities. *Review of Research in Education*, 24, 249. <https://doi.org/10.2307/1167272>
- Coenders, F. & Terlouw, C. (2015). A Model for In-service Teacher Learning in the Context of an Innovation. *Journal of Science Teacher Education*, 26(5), 451–470. <https://doi.org/10.1007/s10972-015-9432-5>
- Coenders, F. & Verhoef, N. (2019). Lesson Study: professional development (PD) for beginning and experienced teachers. *Professional Development in Education*, 45(2), 217–230. <https://doi.org/10.1080/19415257.2018.1430050>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). L. Erlbaum Associates. <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1192162>
- Crawford, B. A. (2014). From inquiry to scientific practices in the science classroom. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Hrsg.), *Handbook of research on science education* (S. 515–541). Routledge.

- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297–334. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>
- Cuevas, P., Lee, O., Hart, J. & Deaktor, R. (2005). Improving science inquiry with elementary students of diverse backgrounds. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(3), 337–357. <https://doi.org/10.1002/tea.20053>
- Czeslik, C., Seemann, H. & Winter, R. (2010). *Basiswissen Physikalische Chemie* (4., aktualisierte Auflage). Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-8348-9359-8>
- Darling-Hammond, L. & McLaughlin, M. W. (2011). Policies That Support Professional Development in an Era of Reform. *Phi Delta Kappan*, 92(6), 81–92. <https://doi.org/10.1177/003172171109200622>
- Daschner, P. (2004). Dritte Phase an Einrichtungen der Lehrerfortbildung. In S. Blömeke, P. Reinhold, G. Tulodziecki & J. Wildt (Hrsg.), *Handbuch Lehrerbildung* (S. 290–301). Klinkhardt.
- Daus, J., Pietzner, V., Höner, K., Scheuer, R., Melle, I., Neu, C., Schmidt, S. & Bader, H. J. (2004). Untersuchung des Fortbildungsverhaltens und der Fortbildungswünsche von Chemielehrerinnen und Chemielehrern. *CHEMKON*, 11(2), 79–85. <https://doi.org/10.1002/ckon.200410007>
- Desimone, L. M. (2009). Improving Impact Studies of Teachers' Professional Development: Toward Better Conceptualizations and Measures. *Educational Researcher*, 38(3), 181–199. <https://doi.org/10.3102/0013189X08331140>
- Deters, K. (2004). Inquiry in the Chemistry Classroom: Tips for implementing inquiry-based chemistry labs. *The Science Teacher*, 71(10).
- Deters, K. (2005). Student Opinions Regarding Inquiry-Based Labs. *Journal of Chemical Education*, 82(8), 1178. <https://doi.org/10.1021/ed082p1178>
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. (2010). *DGUV Regel 113-018: Unterricht in Schulen mit gefährlichen Stoffen*.
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. (2019). *Sichere Schule: Chemie*.
- DFG (2019). Guidelines for Safeguarding Good Research Practice. Code of Conduct. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3923602>
- Dickmann, M. (2016). *Messung von Experimentierfähigkeiten* [Dissertation, Universität Duisburg-Essen, Essen]. GBV Gemeinsamer Bibliotheksverbund.
- Dillon, J. T. (1988). The remedial status of student questioning. *Journal of Curriculum Studies*, 20(3), 197–210. <https://doi.org/10.1080/0022027880200301>
- Dochy, F. & Alexander, P. A. (1995). Mapping prior knowledge: A framework for discussion among researchers. *European Journal of Psychology of Education*, 10(3), 225–242. <https://doi.org/10.1007/BF03172918>
- Dochy, F., Mien & Buehl, M. M. (1999). The Relation Between Assessment Practices and Outcomes of Studies: The Case of Research on Prior Knowledge. *Review of Educational Research*, 69(2), 145–186. <https://doi.org/10.3102/00346543069002145>

- Dohmann, J. (2020). *Experimentelle Einführung in die Elektrochemie: Grundlagen - Konzepte - Theorie* (1st ed. 2020). <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59763-7>
- Domin, S. (1999). A Review of Laboratory Instruction Styles. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 543–547.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. Aufl.). *Springer-Lehrbuch*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5>
- Drechsel, B. & Schindler, A.-K. (2019). Unterrichtsqualität. In D. Urhahne, M. Dresel & F. Fischer (Hrsg.), *Psychologie für den Lehrberuf* (S. 353–372). Springer.
- Dreer, B., Dietrich, J. & Kracke, B. (2017). From in-service teacher development to school improvement: factors of learning transfer in teacher education. *Teacher Development*, 21(2), 208–224. <https://doi.org/10.1080/13664530.2016.1224774>
- Dreher, U., Holzäpfel, L., Leuders, T. & Stahnke, R. (2018). Problemlösen lehren lernen – Effekte einer Lehrerfortbildung auf die prozessbezogenen mathematischen Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 39(2), 227–256. <https://doi.org/10.1007/s13138-017-0121-0>
- Drüke-Noe, Christina, Keller, Katrin, Blum & Werner (2008). Bildungsstandards: Ein Motor für Unterrichtsentwicklung und Lehrerbildung? *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 26(3), 372–382.
- Duit, R. & Mikelskis-Seifert (Hrsg.). (2010). *Physik im Kontext. Konzepte, Ideen, Materialien für effizienten Physikunterricht. Sonderband Unterricht Physik: Piko-Brief 6: Naturwissenschaftliches Arbeiten*. Friedrich Verlag.
- Duller, C. (2018). *Einführung in die nichtparametrische Statistik mit SAS, R und SPSS: Ein anwendungsorientiertes Lehr- und Arbeitsbuch* (2. Aufl.). *Lehrbuch*. Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57678-6>
- Dumont, H. (2016). Die empirische Untersuchung von individueller Förderung als Perspektive für die Unterrichtsqualitätsforschung. In N. McElvany, W. Bos, H. G. Holtappels, M. M. Gebauer & F. Schwabe (Hrsg.), *Dortmunder Symposium der Empirischen Bildungsforschung: Band 1. Bedingungen und Effekte guten Unterrichts* (S. 107–116). Waxmann.
- Ebermann, R. & Elmadfa, I. (2011). *Lehrbuch Lebensmittelchemie und Ernährung* (2., korrigierte und erw. Aufl.). Springer-Verlag Vienna. <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10494376> <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0211-4>
- Eckstein, P. P. (2016). *Angewandte Statistik mit SPSS: Praktische Einführung für Wirtschaftswissenschaftler* (8., überarb. Aufl. 2016). Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-10918-9>
- Ehlert, L. & Tepner, O. (2020). Konzept zur Öffnung geschlossener Experimentieranleitungen in Chemie. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen: Jahrestagung in Wien 2019* (S. 868–871).
- Eickelmann, B., Drossel, K. & Port, S. (2019). Was bedeutet die Digitalisierung für die Lehrerfortbildung? Ausgangslage und Perspektive. In B. Groot-Wilken & R. Koerber

- (Hrsg.), *Wbv Publikation. Nachhaltige Professionalisierung für Lehrerinnen und Lehrer: Ideen, Entwicklungen, Konzepte* (1. Aufl., S. 57–82). wbv.
- Eickelmann, B., Gerick, J., Labusch, A. & Vennemann, M. (2019). Schulische Voraussetzungen als Lern- und Lehrbedingungen in den ICILS-2018-Teilnehmerländern. In B. Eickelmann, W. Bos, J. Gerick, F. Goldhammer, H. Schaumburg, K. Schwippert, M. Senkbeil & J. Vahrenhold (Hrsg.), *ICILS 2018 #Deutschland: Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking* (S. 137–171). Waxmann.
- Eid, M., Gollwitzer, M. & Schmitt, M. (2015). *Statistik und Forschungsmethoden: Mit Online-Materialien* (5., korrigierte auflage). Beltz.
- Eid, M. & Schmidt, K. (2014). *Testtheorie und Testkonstruktion. Bachelorstudium Psychologie*. Hogrefe. http://sub-hh.ciando.com/book/?bok_id=1548490
- Emden, M. (2011). *Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens: Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I*. Zugl.: Duisburg, Essen, Univ., Diss., 2011. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 118*. Logos.
- Endberg, M. & Lorenz, R. (2017). Selbsteinschätzung medienbezogener Kompetenzen von Lehrpersonen der Sekundarstufe I im Bundesländervergleich und im Trend von 2016 bis 2017. In R. Lorenz, W. Bos, M. Endberg, B. Eickelmann, S. Grafe, J. Vahrenhold & Waxmann Verlag GmbH (Hrsg.), *Schule digital - der Länderindikator 2017: Schulische Medienbildung in der Sekundarstufe I mit besonderem Fokus auf MINT-Fächer im Bundesländervergleich und Trends von 2015 bis 2017* (S. 151–177). Waxmann.
- Engeln, K. & Euler, M. (2004). Forschen statt Pauken. *Physik Journal*, 3(11).
- Engeln, K., Euler, M. & Maass, K. (2013). Inquiry-based learning in mathematics and science: a comparative baseline study of teachers' beliefs and practices across 12 European countries. *ZDM*, 45(6), 823–836. <https://doi.org/10.1007/s11858-013-0507-5>
- Esatbeyoglu, T., Huebbe, P., Ernst, I. M. A., Chin, D., Wagner, A. E. & Rimbach, G. (2012). Curcumin - vom Molekül zur biologischen Wirkung. *Angewandte Chemie*, 124(22), 5402–5427. <https://doi.org/10.1002/ange.201107724>
- Esatbeyoglu, T., Wagner, A. E., Schini-Kerth, V. B. & Rimbach, G. (2015). Betanin - A food colorant with biological activity. *Molecular nutrition & food research*, 59(1), 36–47. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201400484>
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A. & Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41(1149-1160).
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G. & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39, 175–191.

- Fay, M. E., Grove, N. P., Towns, Marcy, Hamby & Bretz, Stacey, Lowery (2007). A rubric to characterize inquiry in the undergraduate chemistry laboratory. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), 212–219.
- Felixberger, J. K. (2017). *Chemie für Einsteiger*. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-52821-1>
- Fend, H. (1980). *Theorie der Schule*. Urban und Schwarzenberg.
- Field, A. (2015). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics: And sex and drugs and rock 'n' roll* (4. Aufl.). MobileStudy. SAGE Publications - Books.
- Fischer, H. E. & Draxler, D. (2007). Konstruktion und Bewertung von Physikaufgaben. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Springer-Lehrbuch. Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (S. 639–655). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Fischler, H. (2015). Aus- und Fortbildung von Physiklehrkräften. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik* (S. 681–704). Springer.
- Fitzgerald, M., Danaia, L. & McKinnon, D. H. (2019). Correction to: Barriers Inhibiting Inquiry-Based Science Teaching and Potential Solutions: Perceptions of Positively Inclined Early Adopters. *Research in Science Education*, 49(2), 567. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9812-x>
- Fleschhut, J., Kratzer, F., Reckemmer, G. & Kulling, S. E. (2006). Stability and bio-transformation of various dietary anthocyanins in vitro. *European journal of nutrition*, 45(1), 7–18. <https://doi.org/10.1007/s00394-005-0557-8>
- Flick, L. B. (2000). Cognitive Scaffolding that Fosters Scientific Inquiry in Middle Level Science. *Journal of Science Teacher Education*, 11(2), 109–129.
- Forschergruppe Kassel (2007). Schritt für Schritt zur Lösung. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik*, 18(99/100), 42–45.
- Franke-Braun, G., Schmidt-Weigand, F., Stäudel, L. & Wodzinski, R. (2008). Aufgaben mit gestuften Lernhilfen: Ein besonders Aufgabenformat zur kognitiven Aktivierung der Schülerinnen und Schüler und zur Intensivierung der sachbezogenen Kommunikation. In Kasseler Forschungsgruppe (Hrsg.), *Lehren - Lernen - Literacy: Bd. 2. Lernumgebungen auf dem Prüfstand: Zwischenergebnisse aus den Forschungsprojekten* (S. 27–42). Kassel Univ. Press.
- Fritsche, O. (2020). *Physik für Chemiker I: Physikalische Grundlagen, Mechanik, Thermodynamik* (1st ed. 2020). <https://doi.org/10.1007/978-3-662-60350-5>
- Fromm, S. (2012). *Datenanalyse mit SPSS für Fortgeschrittene 2: Multivariate Verfahren für Querschnittsdaten* (2. Aufl.). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Fullan, M. & Steigelbauer, S. (1991). *The new meaning of educational change* (2. Aufl.). Teachers College Press.
- 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>

- Fussangel, K., Rürup, M. & Gräsel, C. (2016). Lehrerfortbildung als Unterstützungssystem. In H. Altrichter (Hrsg.), *Handbuch Neue Steuerung im Schulsystem* (S. 361–384). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-531-18942-0_13
- Fyfe, E. R. & Rittle-Johnson, B. (2016). Feedback both helps and hinders learning: The causal role of prior knowledge. *Journal of Educational Psychology*, 108(1), 82–97. <https://doi.org/10.1037/edu0000053>
- Gäde, J. C., Schermelleh-Engel, K. & Werner, C. S. (2020). Klassische Methode der Reliabilitätsschätzung. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (3. Aufl., S. 305–334). Springer.
- Garet, M. S., Porter, A. C., Desimone, L., Birman, B. F. & Yoon, K. S. (2001). What Makes Professional Development Effective? Results From a National Sample of Teachers. *American Educational Research Journal*, 38(4), 915–945.
- Gassmann, C. (2013). *Erlebte Aufgabenschwierigkeit bei der Unterrichtsplanung: Eine qualitativ-inhaltsanalytische Studie zu den Praktikumsphasen der universitären Lehrerbildung*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Geiser, C. & Eid, M. (2010). Item-Response-Theorie. In C. Wolf (Hrsg.), *Handbuch sozialwissenschaftliche Datenanalyse* (1. Aufl., S. 311–332). VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-92038-2_14
- Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of the thinking from the PCK Summit. In A. Berry, P. Friedrichsen & J. Loughran (Hrsg.), *Teaching and learning in science series. Re-examining pedagogical content knowledge in science education* (S. 28–42). Routledge.
- Gey, M. (2015). *Instrumentelle Analytik und Bioanalytik: Biosubstanzen, Trennmethoden, Strukturanalytik, Applikationen* (3. Aufl.). Lehrbuch. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-46255-3>
- Girden, E. R. (1992). *ANOVA: repeated measures: Repeated measures* (1. Aufl.). Sage University papers / Quantitative applications in the social sciences: Bd. 84. Sage Publ.
- Girwidz, R. (2015). Medien im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik* (S. 193–242). Springer.
- Glodowski, A.-S. & Funke, J. (1990). Planen und Problemlösen: Überlegungen zur neuropsychologischen Diagnostik von Basiskompetenzen beim Planen. *Zeitschrift für Neuropsychologie*, 1, 139–148. <https://doi.org/10.11588/HEIDOK.00008149>
- Götz, T. & Nett, U. E. (2017). Selbstreguliertes Lernen. In T. Götz (Hrsg.), *Standardwissen Lehramt: 3481. Pädagogische Psychologie, Schulpädagogik. Emotion, Motivation und selbstreguliertes Lernen* (2. Aufl.). Ferdinand Schöningh.
- Gräsel, C., Fussangel, K. & Parchmann, I. (2006). Lerngemeinschaften in der Lehrerfortbildung. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 545–561. <https://doi.org/10.1007/s11618-006-0167-0>
- Gräsel, C. & Göbel, K. (2011). Unterrichtsqualität. In H. Reinders, H. Ditton, C. Gräsel & B. Gniewosz (Hrsg.), *Empirische Bildungsforschung: Gegenstandsbereiche* (1. Aufl., S. 87–98). VS Verlag für Sozialwissenschaften.

- Gräsel, C. & Göbel, K. (2015). VII-3 Unterrichtsqualität. In H. Reinders, H. Ditton, C. Gräsel & B. Gniewosz (Hrsg.), *Empirische Bildungsforschung* (S. 107–119). VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-19994-8_8
- Greif, S. & Kurtz, H.-J. (Hrsg.). (1998). *Schriftenreihe Psychologie und innovatives Management. Handbuch selbstorganisiertes Lernen* (2. Aufl.). Verl. für Angewandte Psychologie.
- Grewe, N. (2017). Soziale Interaktion und Klassenklima. In M. K. Schweer (Hrsg.), *Lehrer-Schüler-Interaktion. Schule und Gesellschaft: Inhaltsfelder, Forschungsperspektiven und methodische Zugänge* (S. 547–560). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-15083-9_24
- Großmann, N. & Wilde, M. (2019). Experimentation in biology lessons: guided discovery through incremental scaffolds. *International Journal of Science Education*, 41(6), 759–781. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1579392>
- Grube, C. (2010). *Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung: Untersuchung der Struktur und Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I* [Dissertation]. Universität Kassel, Kassel, Hess.
- Gruber, H. & Stamouli, E. (2009). Intelligenz und Vorwissen. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 27–47). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-88573-3_2
- Guskey, T. R. (2002). Professional Development and Teacher Change. *Teachers and Teaching*, 8(3), 381–391. <https://doi.org/10.1080/135406002100000512>
- Guskey, T. R. & Yoon, K. S. (2009). What Works in Professional Development? *Phi Delta Kappan*, 90(7), 495–500. <https://doi.org/10.1177/003172170909000709>
- Gustafsson, J.-E. & Undheim, J. O. (op. 1996). Individual differences in cognitive functions. In D. C. Berliner & R. C. Calfee (Hrsg.), *Handbook of educational psychology: A project of division 15, the division of educational psychology of the American psychological association* (S. 186–242). Macmillan Library Reference USA.
- Gut, C., Metzger, S., Hild, P. & Tardent, J. (2014). Problemtypenbasierte Modellierung und Messung experimenteller Kompetenzen. In V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik: Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Gut-Glanzmann, C. (2012). *Modellierung und Messung experimenteller Kompetenz: Analyse eines large-scale Experimentiertests*. Zugl.: Basel, Univ., Diss., 2012. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 134*. Logos Verlag Berlin.
- Gut-Glanzmann, C. & Mayer, J. (2018). Experimentelle Kompetenz. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 121–140). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_8
- 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>

- Haag, L. & Streber, D. (2017). Unterrichtsvorbereitung bei Lehrkräften - ein Thema? In S. Wernke & K. Zierer (Hrsg.), *Die Unterrichtsplanung: ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?! Status Quo und Perspektiven aus Sicht der empirischen Forschung* (S. 166–177). Verlag Julius Klinkhardt.
- Hahn, T. (2018). *Schülerlösungen in Lehrerfortbildungen: Eine empirische Studie zur Entwicklung der professionellen Kompetenz von Mathematiklehrkräften* (1. Aufl.). *Mathematikdidaktik im Fokus*. Springer.
- Hamann, C. H., Hoogestraat, D. & Koch, R. (2017). *Grundlagen der Kinetik: Von Transportprozessen zur Reaktionskinetik*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-49393-9>
- Hammann, M. (2007). Das Scientific Discovery as Dual Search Model. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Springer-Lehrbuch. Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 187–196). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hammann, M., Phan, T. H. & Bayrhuber, H. (2008). Experimentieren als Problemlösen: Lässt sich das SDDS- Modell nutzen, um unterschiedliche Dimensionen beim Experimentieren zu messen? In M. Prenzel, I. Gogolin & H.-H. Krüger (Hrsg.), *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft Sonderheft: Bd. 8. Kompetenzdiagnostik: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* (S. 33–49). VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-531-90865-6_3
- Hammann, M., Phan, H., Ehmer, M. & Bayrhuber, H. (2006). Fehlerfrei Experimentieren. *Mathematisch und naturwissenschaftlicher Unterricht (MNU)*, 59(5), 292–299.
- Hammann, M., Phan, T. T. H., Ehmer, M. & Grimm, T. (2008). Assessing pupils' skills in experimentation. *Journal of Biological Education*, 42(2), 66–72. <https://doi.org/10.1080/00219266.2008.9656113>
- 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., Bd. 10, S. 197–208). 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 & S. Bathe (Hrsg.), *Beltz Pädagogik. Innere Differenzierung in der Sekundarstufe II: Ein Praxishandbuch für Lehrer/innen* (S. 63–73). Beltz.
- Hardwig, T., Mußmann, F., Peters, S. & Parciak, M. (2018). *Zeiterfassungsstudien zur Arbeitszeit von Lehrkräften in Deutschland: Konzepte, Methoden und Ergebnisse von Studien zu Arbeitszeiten und Arbeitsverteilung im historischen Vergleich*. https://kooperationsstelle.uni-goettingen.de/fileadmin/user_upload/Hardwig_Muermann_MTS-Expertise_-_Zeiterfassungsstudien_zur_Arbeitszeit_von_Lehrkraeften_in_Deutschland.pdf
- Harner, R. A. (1980). Occurrence, chemistry and application of betanin. *Food Chemistry*, 5(1), 81–90. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(80\)90066-7](https://doi.org/10.1016/0308-8146(80)90066-7)

- Harms, U. & Riese, J. (2018). Professionelle Kompetenz und Professionswissen. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 283–298). Springer Berlin Heidelberg.
- Hartig, J. & Frey, A. (2013). Sind Modelle der Item-Response-Theorie (IRT) das „Mittel der Wahl“ für die Modellierung von Kompetenzen? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 16(S1), 47–51. <https://doi.org/10.1007/s11618-013-0386-0>
- Hascher, T. (2011). Forschung zur Wirksamkeit der Lehrerbildung. In E. Terhart, H. Bennewitz & M. Rothland (Hrsg.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (S. 418–440). Waxmann.
- Hascher, T. & Brandenberger, C. C. (2018). Emotionen und Lernen im Unterricht. In M. Huber (Hrsg.), *Bildung und Emotion* (S. 289–310). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-18589-3_16
- Hasselhorn, M. & Gold, A. (2017). *Pädagogische Psychologie: Erfolgreiches Lernen und Lehren* (4. Aufl.). Kohlhammer Standards Psychologie. Kohlhammer. <https://e-bookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=4902108>
- Hattie, J. (2015). *Lernen sichtbar machen* (W. Beywl & K. Zierer, Hg.). Schneider Verlag Hohengehren.
- Hattie, J., Beywl, W. & Zierer, K. (2014). *Lernen sichtbar machen* (2., korr. Aufl.). Schneider-Verl. Hohengehren.
- Hattie, J. & Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81–112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
- Hauerstein, M.-T. (2019). *Untersuchung zur Effektivität von Strukturierung und Binnendifferenzierung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I: Evaluation der Strukturierungshilfe Lernleiter*. Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 280. Logos Berlin.
- Heidrich, J. (2017). *Erfassung von Experimentierkompetenz im universitären Kontext: Entwicklung und Validierung eines Experimentiertests zum Themenbereich Optik* [Dissertation]. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel.
- Heinrichs, H. (2015). *Diagnostische Kompetenz von Mathematik-Lehramtsstudierenden: Messung und Förderung*. Zugl.: Hamburg, Univ., Diss., 2014. *Perspektiven der Mathematikdidaktik*. Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-09890-2>
- Heldt, H. W. & Piechulla, B. (2015). *Pflanzenbiochemie*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44398-9>
- Helmke, A. (2003). *Unterrichtsqualität erfassen, bewerten, verbessern*. Klett Kallmeyer.
- Helmke, A. (2007a). Aktive Lernzeit optimieren: Was wissen wir über effiziente Klassenführung? *Pädagogik*, 59(5), 44–49.
- Helmke, A. (2007b). *Unterrichtsqualität erfassen, bewerten, verbessern: Dieses Buch ist Fran-Emanuel Weinert gewidmet* (6. Aufl.). *Schulisches Qualitätsmanagement*. Kallmeyer.

- Helmke, A. (2015). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität: Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts; Franz Emanuel Weinert gewidmet* (6. Aufl.). Klett.
- Helmke, A. & Weinert, F. E. (1997). Bedingungsfaktoren schulischer Leistungen. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie Praxisgebiete Pädagogische Psychologie: Bd. 3. Enzyklopädie der Psychologie* (71–176). Hogrefe.
- Hendry, G. A. F. & Houghton, J. D. (Hrsg.). (1996). *Natural Food Colorants* (Second edition). Springer-Science+Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2155-6>
- Herbig, M. & Wagler, J. (2018). *Qualitative Anorganische Analyse: Begleitbuch für das Arbeiten mit Trennungsgang*. Springer.
- Herron, M. D. (1971). The Nature of Scientific Enquiry. *The School Review*, 79(2), 171–212. <https://doi.org/10.1086/442968>
- Hertel, S., Hochweber, J., Steinert, B. & Klieme, E. (2010). Schulische Rahmenbedingungen und Lerngelegenheiten im Deutschunterricht. In Klieme, E., Artelt, C., Hartig, J., Jude, N., Köller, O., Prenzel, M., Schneider, W., Stanat, P. (Hrsg.), *PISA 2009. Bilanz nach einem Jahrzehnt* (S. 113–151). Waxmann.
- Herzog, W. & Makarova, E. (2011). Anforderungen an und Leitbilder für den Lehrberuf. In E. Terhart, H. Bennewitz & M. Rothland (Hrsg.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (S. 63–78). Waxmann.
- Hild, P., Buff, A., Gut, C. & Parchmann, I. (2020). Adaptives kompetenzbezogenes Feedback beim selbstständigen praktisch-naturwissenschaftlichen Arbeiten. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1007/s40573-020-00109-8>
- Hillbrandt, C. & Sintzen-Königsfeld, W. (2009). Schulentwicklung durch Standardisierung. Anmerkungen zur Entwicklung von Schule durch Bildungsstandards aus historischer und aktueller Sicht. In W. Helsper, C. Hillbrandt & T. Schwarz (Hrsg.), *Schule und Bildung im Wandel: Anthologie historischer und aktueller Perspektiven* (1. Aufl., S. 15–35). VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-531-91812-9_2
- Hilt, G. & Rinze, P. (2015). *Chemisches Praktikum für Mediziner* (8. Aufl.). *Studienbücher Chemie*. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-00411-8>
- Hmelo-Silver, Cindy, E., Duncan, Ravit, Golan & Chinn, C. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark. *Educational Psychologist*, 42(2), 99–107.
- Hobföll, S. E. (1989). Conservation of resources: A new attempt at conceptualizing stress. *American Psychologist*, 44(3), 513–524. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.44.3.513>
- Hochweber, J., Hosenfeld, I. & Klieme, E. (2014). Classroom composition, classroom management, and the relationship between student attributes and grades. *Journal of Educational Psychology*, 106(1), 289–300. <https://doi.org/10.1037/a0033829>

- Hodson, D. (2014). Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534–2553. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.899722>
- Hofer, E., Abels, S. & Lembens, A. Inquiry-based learning and secondary chemistry education – a contradiction? *RISTAL*, 51–65.
- Hofmann, H. & Jander, G. (2011). *Qualitative Analyse. Sammlung Göschen*. De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110834888>
- 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., Cohen, I. & Lazarowitz, R. (1996). The Learning Environment of High School Students in Chemistry and Biology Laboratories. *Research in Science & Technological Education*, 14(1), 103–116. <https://doi.org/10.1080/0263514960140108>
- Hofstein, A., Dkeidek, I., Katchevitch, D., Nahum, T. L., Kipnis, M., Navon, O., Shore, R., Taitelbaum, D. & Mamlok-Naaman, R. (2019). Research on and Development of Inquiry-Type Chemistry Laboratories in Israel. *Israel Journal of Chemistry*, 59(6-7), 514–523. <https://doi.org/10.1002/ijch.201800056>
- 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. <https://doi.org/10.3102/00346543052002201>
- Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28–54.
- Hofstein, A. & Lunetta, Vincent, N. (1982). The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. *Review of Educational Research*, 52(2), 2001–2217.
- Hofstein, A., Navon, O., Kipnis, M. & Mamlok-Naaman, R. (2005). Developing students' ability to ask more and better questions resulting from inquiry-type chemistry laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(7), 791–806. <https://doi.org/10.1002/tea.20072>
- Hoinkis, J. & Lindner, E. (2007). *Chemie für Ingenieure* (13., vollst. überarb. Aufl.). Wiley-VCH.
- Holleman, A. F., Wiberg, E. & Wiberg, N. (2007). *Lehrbuch der anorganischen Chemie* (102., stark umgearb. u. verb. Aufl.). De Gruyter.
- Holleman, A. F., Wiberg, E., Wiberg, N. & Fischer, G. (2017a). *Anorganische Chemie* (103. Auflage). De Gruyter.
- Holleman, A. F., Wiberg, E., Wiberg, N. & Fischer, G. (2017b). *Anorganische Chemie: Band 2 Nebengruppenelemente, Lanthanoide, Actinoide, Transactinoide* (103. Auflage). De Gruyter.

- 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>
- Huber, F., Meyer, F. & Lenzen, J. M. (2014). *Grundlagen der Varianzanalyse: Konzeption - Durchführung - Auswertung*. Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-05666-7>
- Huheey, J. E., Keiter, E. A. & Keiter, R. L. (2014). *De Gruyter Studium. Anorganische Chemie: Prinzipien von Struktur und Reaktivität* (R. Steudel, Hg.). De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110307955>
- Hussy, W., Schreier, M. & Echterhoff, G. (2013). *Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften für Bachelor* (2. Aufl.). *Springer-Lehrbuch*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-34362-9>
- Imhof, M. (2020). *Psychologie für Lehramtsstudierende* (5. Aufl.). *Basiswissen Psychologie*. Springer.
- Jäger, R. S. & Bodensohn, R. (2007). Die Situation der Lehrerfortbildung im Fach Mathematik aus Sicht der Lehrkräfte.: Ergebnisse einer Befragung von Mathematiklehrern.
- Janczyk, M. & Pfister, R. (2020). *Inferenzstatistik verstehen: Von A wie Signifikanztest bis Z wie Konfidenzintervall* (3rd ed. 2020). Springer.
- Jander, G., Blasius, E., Strähle, J., Schweda, E. & Rossi, R. (2006). *Lehrbuch der analytischen und präparativen anorganischen Chemie: Mit Poster "Trennungsgang der Kationen - Gefahrstoffrecht" und mit Begleitheft "Erste Hilfe bei akuten Notfällen"*; mit 67 Tabellen und 36 Kristallaufnahmen (16., überarb. Aufl.). Hirzel.
- Janiak, C., Gudat, D., Kurz, P. & Meyer, H.-J. *Moderne Anorganische Chemie*. In <https://doi.org/10.1515/9783110441635>
- Janich, P. (1995). Experiment. In Mittelstraß J. (Hrsg.), *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie* (S. 621–622). J. B. Metzler.
- Janssen, J. & Laatz, W. (2016). *Statistische Datenanalyse mit SPSS: Eine anwendungsorientierte Einführung in das Basissystem und das Modul Exakte Tests: Eine anwendungsorientierte Einführung in das Basissystem und das Modul Exakte Tests* (9., überarbeitete und erweiterte Auflage). Springer Science and Business Media; Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53477-9>
- Jiang, F. & McComas, W. (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.
- Jong, T. de & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179–201. <https://doi.org/10.3102/00346543068002179>
- Justi, R. & van Driel, J. (2006). The use of the Interconnected Model of Teacher Professional Growth for understanding the development of science teachers' knowledge on

- models and modelling. *Teaching and Teacher Education*, 22(4), 437–450. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2005.11.011>
- Kabir, S. M. M. & Koh, J. (2017). Effect of chelating agent in disperse dye dyeing on polyester fabric. *Fibers and Polymers*, 18(12), 2315–2321.
- Kähkönen, M. P. & Heinonen, M. (2003). Antioxidant activity of anthocyanins and their aglycons. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(3), 628–633. <https://doi.org/10.1021/jf025551i>
- Kaiser, G., Blömeke, S., König, J., Busse, A., Döhrmann, M. & Hoth, J. (2017). Professional competencies of (prospective) mathematics teachers—cognitive versus situated approaches. *Educational Studies in Mathematics*(94), 161–182.
- Kallus, K. W. (2010). *Erstellung von Fragebogen* (1. Aufl.). facultas.wuv.
- Kalyuga, S. (2007). Expertise Reversal Effect and Its Implications for Learner-Tailored Instruction. *Educational Psychology Review*, 19(4), 509–539. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9054-3>
- Kanari, Z. & Millar, R. (2004). Reasoning from data: How students collect and interpret data in science investigations. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(7), 748–769. <https://doi.org/10.1002/tea.20020>
- 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.), *Springer-Lehrbuch. Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 93–104). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der didaktischen Rekonstruktion: Ein Rahmen für die naturwissenschaftlichdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3–18.
- Kattmann, U., Frerichs, V. & Gluhodow, M. (2005). Gene sind charakterlos: Didaktische Rekonstruktion am beispiel Genetik. *Mathematisch und naturwissenschaftlicher Unterricht (MNU)*, 58(6), 324–330.
- Kelava, A. & Moosbrugger, H. (2020). Deskriptivstatistische Itemanalyse und Testwertbestimmung. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (3. Aufl., S. 143–158). Springer.
- Kennedy, M. M. (1998). Form and substance in inservice teacher education. *Research Monograph*, 13.
- Kennedy, M. M. (2016). How Does Professional Development Improve Teaching? *Review of Educational Research*, 86(4), 945–980.
- Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T. & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health

- benefits. *Food & nutrition research*, 61(1), 1361779. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>
- Khourey-Bowers, C. & Fenk, C. (2009). Influence of Constructivist Professional Development on Chemistry Content Knowledge and Scientific Model Development. *Journal of Science Teacher Education*, 20(5), 437–457. <https://doi.org/10.1007/s10972-009-9140-0>
- Killus, D. (2009). Förderung selbstgesteuerten Lernens im Kontext lehrer- und organisationsbezogener Merkmale. *Zeitschrift für Pädagogik*, 55(130-150).
- Kiper, H. & Mischke, W. (2009). *Unterrichtsplanung. Bachelo/Master*. Beltz.
- Kirkpatrick, D. L. (1979). Techniques for Evaluating Training Programs. *Training and Development Journal*, 33, 78–92.
- 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.
- Klafki, W. (2007). *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik: Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik* (6. Aufl.). Beltz-Bibliothek. Beltz.
- Klahr, D. (2000). *Exploring science: The cognition and development of discovery processes*. MIT Press.
- 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>
- Klieme, E., Avenarius, H., Blum, W., Döbrich, P., Gruber, H., Prenzel, M., Reiss, K., Ri-quarts, K., Rost, J., Ternoth, H.-E. & Vollmer, H. J. (2007). *Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards*. BMBF.
- Kluger, A. N. & DeNisi, A. (1996). The effects of feedback interventions on performance: A historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. *Psychological Bulletin*, 119(2), 254–284. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.119.2.254>
- 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). Waxmann.
- KMK. (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10): Beschluss vom 16.12.2004. Beschlüsse der Kultusministerkonferenz*. Wolters Kluwer.
- KMK. (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10): Beschluss vom 16.12.2004. Beschlüsse der Kultusministerkonferenz*. Wolters Kluwer.

- KMK. (2005c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10): Beschluss vom 16.12.2004. Beschlüsse der Kultusministerkonferenz*. Wolters Kluwer.
- KMK. (2016). *Bildung in der digitalen Welt: Strategie der Kultusministerkonferenz*. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2018/Strategie_Bildung_in_der_digitalen_Welt_idF_vom_07.12.2017.pdf
- KMK. (2019a). *Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.10.2008 i. d. F. vom 16.05.2019* (Bd. 2019).
- KMK. (2019b). *Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004 i. d. F. vom 16.05.2019*.
- KMK. (2020). *Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife: Beschluss vom 18.06.2020*.
- Kobarg, M., Prenzel, M., Seidel, T., Walker, M., McCrae, B., Cresswell, J. & Wittwer, J. (2011). *An International comparison of science teaching and learning: Further results from PISA 2006*. Waxmann.
- Koenen, J., Emden, M. & Sumfleth, E. (Hrsg.). (2016). *Ganz In - Materialien für die Praxis. Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung*. Waxmann.
- Kohler, B. & Wacker, A. (2013). Das Angebots-Nutzungs-Modell: Überlegungen zu Chancen und Grenzen des derzeit prominentesten Wirkmodells der Schul- und Unterrichtsforschung. *DDS - Die deutsche Schule*, 105(3), 241–257.
- Koksal, E. A. & Berberoglu, G. (2014). The Effect of Guided-Inquiry Instruction on 6th Grade Turkish Students' Achievement, Science Process Skills, and Attitudes Toward Science. *International Journal of Science Education*, 36(1), 66–78. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.721942>
- Köller, O. (2008). Bildungsstandards in Deutschland: Implikationen für die Qualitätssicherung und Unterrichtsqualität. In M. A. Meyer, S. Hellekamps & M. Prenzel (Hrsg.), *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft Sonderheft: Bd. 9. Perspektiven der Didaktik: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* (S. 47–59). VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- König, J. (2019). PlanvoLL-D: Planungskompetenz von angehenden Lehrerinnen und Lehrern im Fach Deutsch. In N. McElvany, W. Bos, H. G. Holtappels & A. Ohle-Peters (Hrsg.), *Dortmunder Symposium der Empirischen Bildungsforschung: Band 4. Bedingungen und Effekte von Lehrerbildung, Lehrkraftkompetenzen und Lehrkraft-handeln* (S. 67–85). Waxmann.
- König, J. & Blömeke, S. (2009). Pädagogisches Wissen von angehenden Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 12(3), 499–527.
- König, J., Bremerich-Vos, A., Buchholtz, C., Lammerding, S., Strauß, S., Fladung, I. & Schleiffer, C. (2017). Die Bedeutung des Professionswissens von Referendarinnen und Referendaren mit Fach Deutsch für ihre Planungskompetenz. In S. Wernke & K.

- Zierer (Hrsg.), *Die Unterrichtsplanung: ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?! Status Quo und Perspektiven aus Sicht der empirischen Forschung* (S. 121–133). Verlag Julius 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. (2011). Qualifizierung von Lehrkräften zur Förderung von selbstgesteuertem Lernen: Konzeption und erste Ergebnisse einer Fortbildungsreihe. *Lehrerbildung auf dem Prüfstand*, 4, 211–239.
- Kotzebue, L. von, Gerstl, M. & Nerdel, C. (2015). Common Mistakes in the Construction of Diagrams in Biological Contexts. *Research in Science Education*, 45(2), 193–213. <https://doi.org/10.1007/s11165-014-9419-9>
- Kounin, J. S. (2006). *Techniken der Klassenführung* ((M. Gellert & C. Gellert, Übers.)). *Standardwerke aus Psychologie und Pädagogik. Reprints: Bd. 3*. Waxmann.
- Kramer, M., Förtsch, C., Aufleger, M. & Neuhaus, B. J. (2019). Der Einsatz digitaler Medien im gymnasialen Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25(1), 131–160.
- Krohne, H. W., Hock, M., Hasselhorn, M., Heuer, H. & Schneider, S. (2015). *Psychologische Diagnostik: Grundlagen und Anwendungsfelder* (2nd ed.). Kohlhammer Verlag.
- Kron, F. W., Jürgens, E. & Standop, J. (2014). *Grundwissen Didaktik: Mit 17 Tabellen* (6. Aufl.). *utb-studi-e-book: Bd. 8073*. UTB GmbH; Reinhardt.
- Krüger, D., Parchmann, I. & Schecker, H. (Hrsg.). (2014). *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0>
- Kuhn, D. & Pease, M. (2008). What Needs to Develop in the Development of Inquiry Skills? *Cognition and Instruction*, 26(4), 512–559.
- Kulhavy, R. W. & Stock, W. A. (1989). Feedback in written instruction: The place of response certitude. *Educational Psychology Review*, 1(4), 279–308. <https://doi.org/10.1007/BF01320096>
- Kunter, M. (2005). *Multiple Ziele im Mathematikunterricht*. Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2004. *Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie: Bd. 51*. Waxmann.
- Kunter, M. (2011a). Forschung zur Lehrermotivation. In E. Terhart, H. Bennewitz & M. Rothland (Hrsg.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (S. 527–539). Waxmann.
- Kunter, M. (2011b). 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). Waxmann.

- Kunter, M., Baumert, J., Blum, W. & Neubrand, M. (Hrsg.). (2011). *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV*. Waxmann. http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783830974338
- Kunter, M. & Klusmann, U. (2010). Die Suche nach dem kompetenten Lehrer: Ein personenzentrierter Ansatz. In W. Bos, E. Klieme & O. Köller (Hrsg.), *Schulische Lerngelegenheiten und Kompetenzentwicklung: Festschrift für Jürgen Baumert* (S. 207–230). Waxmann.
- Kunter, M., Klusmann, U. & Baumert, J. (2009). Professionelle Kompetenz von Mathematiklehrkräften: Das COACTIV-Modell. In O. Zlatkin-Troitschanskaia (Hrsg.), *Beltz Bibliothek. Lehrerprofessionalität: Bedingungen, Genese, Wirkungen und ihre Messung* (S. 153–165). Beltz.
- Kunter, M. & Pohlmann, B. (2009). Lehrer. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 261–282). Springer.
- Kunter, M. & Trautwein, U. (Hrsg.). (2018). *Psychologie des Unterrichts*. Ferdinand Schöningh.
- Kurzweil, P. (2015). *Chemie: Grundlagen, Aufbauwissen, Anwendungen und Experimente* (10. Aufl.). *Lehrbuch*. Springer Vieweg.
- Landmann, M., Perels, F., Otto, B. & Schmitz, B. (2009). Selbstregulation. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 49–70). Springer.
- Landmann, M., Perels, F., Otto, B., Schnick-Vollmer, K. & Schmitz, B. (2015). Selbstregulation und selbstreguliertes Lernen. In Wild (Hrsg.), *Springer-Lehrbuch. Pädagogische Psychologie* (S. 45–65). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41291-2_3
- Landmann, M., Schmitz, B. (2007). Welche Rolle spielt Self-Monitoring bei der Selbstregulation und wie kann man mit Hilfe von Tagebüchern die Selbstregulation fördern? In M. Gläser-Zikuda (Hrsg.), *Lernprozesse dokumentieren, reflektieren und beurteilen: Lerntagebuch und Portfolio in Bildungsforschung und Bildungspraxis* (S. 149–169). Klinkhardt.
- Landry, S. H., Anthony, J. L., Swank, P. R. & Monseque-Bailey, P. (2009). Effectiveness of comprehensive professional development for teachers of at-risk preschoolers. *Journal of Educational Psychology*, 101(2), 448–465. <https://doi.org/10.1037/a0013842>
- Lange, S. (2012). *Steigerung selbstregulierten Lernens durch computerbasiertes Feedback beim Erwerb von Experimentierkompetenz im Fach Biologie*. Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Latscha, H. P., Linti, G. W. & Klein, H. A. (2004). *Analytische Chemie: Mit 51 Tabellen* (4. Aufl.). *Springer-Lehrbuch: / Hans Peter Latscha; Gerald Walter Linti; Helmut Alfons Klein ; 3*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-18493-2>
- Lee, J. H. & Choung, M.-G. (2011). Determination of curcuminoid colouring principles in commercial foods by HPLC. *Food Chemistry*, 124(3), 1217–1222.

- Leisen, J. (2006). Aufgabenkultur im mathematischnaturwissenschaftlichen Unterricht. *MNU*, 59(5), 260–266.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2006). Selbstregulation beim Lernen aus Sachtexten. In H. Mandl (Hrsg.), *Hogrefe eLibrary. Handbuch Lernstrategien* (S. 162–171). Hogrefe.
- Lienert, G. A. & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse* (6. Aufl.). *Grundlagen Psychologie*. Beltz.
- Lin, X., Schwartz, D. L. & Hatano, G. (2005). Toward Teachers' Adaptive Metacognition. *Educational Psychologist*, 40(4), 245–255.
- Lipowsky, F. (2006). Auf den Lehrer kommt es an. Empirische Evidenzen für Zusammenhänge zwischen Lehrerkompetenzen, Lehrerhandeln und dem Lernen der Schüler. *Zeitschrift für Pädagogik*(Beiheft 51), 47–70.
- Lipowsky, F. (2007). Was wissen wir über guten Unterricht? In G. Becker, A. Feindt, H. Meyer, M. Rothland, L. Stäudel & E. Terhart (Hrsg.), *Guter Unterricht. Maßstäbe & Merkmale – Wege und Werkzeuge* (S. 26–30). Seelze.
- Lipowsky, F. (2009). Unterricht. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 73–101). Springer.
- Lipowsky, F. (2010). Lernen im Beruf: Empirische Befunde zur Wirksamkeit von Lehrerfortbildungen. In F. H. Müller, A. Eichenberger, M. Lüders & J. Mayr (Hrsg.), *Lehrerinnen und Lehrer lernen: Konzepte und Befunde zur Lehrerfortbildung* (S. 51–72). Waxmann.
- Lipowsky, F. (2011). Theoretische Perspektiven und empirische Befunde zur Wirksamkeit von Lehrerfort- und -weiterbildung. In E. Terhart, H. Bennewitz & M. Rothland (Hrsg.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (S. 398–417). Waxmann.
- Lipowsky, F. (2014). Theoretische Perspektiven und empirische Befunde zur Wirksamkeit von Lehrerfortund -weiterbildung. In E. Terhart, H. Bennewitz & M. Rothland (Hrsg.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (2. Aufl., S. 511–541). Waxmann.
- Lipowsky, F. (2019). Wie kommen Befunde der Wissenschaft in die Klassenzimmer? – Impulse der Fortbildungsforschung. In C. Donie, F. Foerster, M. Obermayr, A. Deckwerth, G. Kammermeyer, G. Lenske, M. Leuchter & A. Wildemann (Hrsg.), *Grundschulpädagogik zwischen Wissenschaft und Transfer* (S. 144–161). VS Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-658-26231-0_18
- Lipowsky, F. & Rzejak, D. (2015). Lehrerfortbildungen lernwirksam gestalten: Ein Überblick über den Forschungsstand. *ZfL Magazin*, 1(1), 5–10.
- Lipowsky, F. & Rzejak, D. (2019). Was macht Fortbildungen für Lehrkräfte erfolgreich? Ein Update. In B. Groot-Wilken & R. Koerber (Hrsg.), *Wbv Publikation. Nachhaltige Professionalisierung für Lehrerinnen und Lehrer: Ideen, Entwicklungen, Konzepte* (1. Aufl., S. 15–56). wbv.
- Loewenstein, A. & Roberts, J. D. (1960). The Ionization of Citric Acid Studied by the Nuclear Magnetic Resonance Technique 1. *Journal of the American Chemical Society*, 82(11), 2705–2710. <https://doi.org/10.1021/ja01496a013>

- Lorenz, R. & Endberg, M. (2017). IT-Ausstattung der Schulen der Sekundarstufe I im Bundesländervergleich und im Trend von 2015 bis 2017. In R. Lorenz, W. Bos, M. Endberg, B. Eickelmann, S. Grafe, J. Vahrenhold & Waxmann Verlag GmbH (Hrsg.), *Schule digital - der Länderindikator 2017: Schulische Medienbildung in der Sekundarstufe I mit besonderem Fokus auf MINT-Fächer im Bundesländervergleich und Trends von 2015 bis 2017* (S. 49–83). Waxmann.
- Loucks-Horsley, S. (2010). *Designing professional development for teachers of science and mathematics* (3rd ed., expanded ed.). Corwin Press.
- Ludi, A. (1988). Berliner Blau. *Chemie in unserer Zeit*, 22(4), 123–127. <https://doi.org/10.1002/ciuz.19880220403>
- Lüke, D. & Friedrich, J. (2019). DEGINTU: ein kostenloses Gefahrstoffinformationssystem für den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht der gesetzlichen Unfallversicherungen. *CHEMKON*, 26(4), 146–152. <https://doi.org/10.1002/ckon.201800103>
- Maass, K. & Engeln, K. (2019). Professional development on connections to the world of work in mathematics and science education. *ZDM*, 51(6), 967–978. <https://doi.org/10.1007/s11858-019-01047-7>
- Maiseyenko, V., Schecker, H. & Nawrath, D. (2013). Kompetenzorientierung des naturwissenschaftlichen Unterrichts. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 12(1), 1–17.
- Março, P. H., Poppi, R. J., Scarminio, I. S. & Tauler, R. (2011). Investigation of the pH effect and UV radiation on kinetic degradation of anthocyanin mixtures extracted from *Hibiscus acetosella*. *Food Chemistry*, 125(3), 1020–1027.
- Marschner, J. (2011). *Adaptives Feedback zur Unterstützung des selbstregulierten Lernens durch Experimentieren*. Duisburg-Essen, Essen.
- Mauchly, J. W. (1940). Significance Test for Sphericity of a Normal $n \times n$ -Variate Distribution. *The Annals of Mathematical Statistics*, 11(2), 204–209.
- Mayer, J. (2007a). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Springer-Lehrbuch. Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 177–186). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68166-3_16
- Mayer, J. (2007b). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Springer-Lehrbuch. Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 177–186). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Mayer, J. & Ziemek, H.-P. (2006). Offenes Experimentieren: Forschendes Lernen im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie*(317), 1–9.
- Mazza, G. & Brouillard, R. (1987). Recent developments in the stabilization of anthocyanins in food products. *Food Chemistry*, 25(3), 207–225.
- Messner, H., Niggli, H. & Reusser, K. (2009). Hochschule als Ort des Selbststudiums: Spielräume für selbstgesteuertes Lernen. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 27, 149–162.

- Meyer, H. (2018). *Was ist guter Unterricht?* (13. Auflage). Cornelsen.
- Millar, R. (1989). Bending the evidence: The relationship between theory and experiment in science education. In R. Millar (Hrsg.), *Doing Science: Images of Science in Science Education* (S. 38–61). Distributed by ERIC Clearinghouse.
- Millar, R. & Lubben, F. (1996). Investigative work in science the role of prior expectations and evidence in shaping conclusions. *Education 3-13*, 24(1), 28–34. <https://doi.org/10.1080/03004279685200061>
- Milobedzka, J., St. v. Kostanecki & Lampe, V. (1910). Zur Kenntnis des Curcumins. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft*, 43(2), 2163–2170. <https://doi.org/10.1002/cber.191004302168>
- Minner, D., Levy, A. & 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.
- Mishra, P. & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Moosbrugger, H. & Brandt, H. (2020a). Antwortformate und Itemtypen. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (3. Aufl., S. 91–118). Springer.
- Moosbrugger, H. & Brandt, H. (2020b). Itemkonstruktion und Antwortverhalten. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (3. Aufl., S. 67–90). Springer.
- Moosbrugger, H. & Kelava, A. (2020). Qualitätsanforderungen an Tests und Fragebogen („Gütekriterien“). In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (3. Aufl., S. 13–38). Springer.
- Moosbrugger, H., Schermelleh-Engel, K., Gåde, J. C. & Kelava, A. (2020). Testtheorien im Überblick. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (3. Aufl., S. 251–274). Springer.
- Mortimer, C. E., Müller, U. & Beck, J. (2014). *Chemie: Das Basiswissen der Chemie* (11., vollst. überarb. Aufl.). Thieme.
- Mory, E. H. (2003). Feedback research revisited. In D. H. Jonassen (Hrsg.), *Handbook of research on educational communications and technology* (2. Aufl., S. 745–783). Lawrence Erlbaum.
- Müller, U. (2009). *Anorganische Strukturchemie* (6. Aufl.). *Studienbücher Chemie*. Vieweg + Teubner.
- Mummendey, H. D. & Grau, I. (op. 2014). *Die Fragebogen-Methode: Grundlagen und Anwendung in Persönlichkeits-, Einstellungs- und Selbstkonzeptforschung* (6. korrigierte Aufl.). Hogrefe.
- Narciss, S. (2006). *Informatives tutorielles Feedback: Entwicklungs- und Evaluationsprinzipien auf der Basis instruktionspsychologischer Erkenntnisse*. *Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie: Bd. 56*. Waxmann.

- Narciss, S. (2020). Feedbackstrategien für interaktive Lernaufgaben. In H. Niegemann & A. Weinberger (Hrsg.), *Springer Reference Psychologie. Lernen mit Bildungstechnologien: Praxisorientiertes Handbuch zum intelligenten Umgang mit digitalen Medien* (1. Aufl., S. 369–392). Springer Berlin; Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54368-9_35
- National Research Council. (1996). *National Science Education Standards: Observe, interact, change, learn* (6. printing). National Academy Press. <https://doi.org/10.17226/4962>
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/9596>
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- National Research Council. (2015). *Guide to Implementing the Next Generation Science Standards*. <https://doi.org/10.17226/18802>
- Natkaniec, J., Jagusiak, A., Rybarska, J., Gosiewski, T., Kaszuba-Zwoińska, J. & Bulanda, M. (2018). *Self-assembled molecules - new kind of protein ligands: Supramolecular ligands* (I. Roterman-Konieczna & L. Konieczny, Hg.). SpringerOpen. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65639-7_6
- Nawrath, D., Maiseyenko, V. & Schecker, H. (2011). Experimentelle Kompetenz - Ein Modell für die Unterrichtspraxis. *Praxis der Naturwissenschaften - Ein Modell für die Unterrichtspraxis*, 60(6), 42–49.
- Nehring, A., Stiller, J., Nowak, K. H., Upmeyer 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*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53158-7>
- Nett, U. E. & Götz, T. (2019). Selbstreguliertes Lernen. In D. Urhahne, M. Dresel & F. Fischer (Hrsg.), *Psychologie für den Lehrberuf*. Springer.
- Neu, C. & Melle, I. (1998). Die Fortbildung von Chemielehrerinnen und -lehrern Gegenwärtige Situation und Möglichkeiten zur Veränderung. *CHEMKON*, 5(4), 181–186. <https://doi.org/10.1002/ckon.19980050404>
- Neumann, K. (2014). Rasch-Analyse naturwissenschaftsbezogener Leistungstests. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 355–369). Springer Spektrum.
- Newman, W. J., Abell, S. K., Hubbard, P. D., McDonald, J., Otaala, J. & Martini, M. (2004). Dilemmas of Teaching Inquiry in Elementary Science Methods. *Journal of Science Teacher Education*, 15(4), 257–279.

- O'Brien, R. G. & Kaiser, M. K. (1985). MANOVA method for analyzing repeated measures designs: An extensive primer. *Psychological Bulletin*, 97(2), 316–333. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.97.2.316>
- Opfer, V. D. & Pedder, D. (2011). Conceptualizing Teacher Professional Learning. *Review of Educational Research*, 81(3), 376–407.
- Oyama, K., Yamada, T., Ito, D., Kondo, T. & Yoshida, K. (2015). Metal Complex Pigment Involved in the Blue Sepal Color Development of Hydrangea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(35), 7630–7635. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02368>
- Pahl, A. & Stadler-Altman, U. (2019). *MINT-Didaktik und Allgemeine Didaktik Im Gespräch: Problemlösung und Differenzierung Als Planungsprinzipien*. Verlag Barbara Budrich.
- Parchmann, I. (2013). Wissenschaft Fachdidaktik: Eine besondere Herausforderung. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 31(1), 31–41.
- Payton, F., Sandusky, P. & Alworth, W. L. (2007). NMR study of the solution structure of curcumin. *Journal of natural products*, 70(2), 143–146.
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., Jong, T. de, van Riesen, S. A., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C. & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47–61.
- Pekrun, R. & Schiefele, H. (1996). Emotions- und motivationspsychologische Bedingungen der Lernleistung. In F. E. Weinert, N.-P. Birbaumer & C. F. Graumann (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie Praxisgebiete Pädagogische Psychologie: Bd. 2. Psychologie des Lernens und der Instruktion* (S. 154–180). Hogrefe Verl. für Psychologie.
- Pelletier, L. G., Séguin-Lévesque, C. & Legault, L. (2002). Pressure from above and pressure from below as determinants of teachers' motivation and teaching behaviors. *Journal of Educational Psychology*, 94(1), 186–196. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.94.1.186> (*Journal of Educational Psychology*, 94(1), 186-196).
- Penuel, W. R., Fishman, B. J., Yamaguchi, R. & Gallagher, L. P. (2007). What Makes Professional Development Effective? Strategies That Foster Curriculum Implementation. *American Educational Research Journal*, 44(4), 921–958. <https://doi.org/10.3102/0002831207308221>
- Peterßen, W. H. (2003). *Lehreraufgabe Unterrichtsplanung: Das Weingartener PlanungsModell* (1. Aufl.). Oldenbourg.
- Peterßen, W. H. (2011). *Handbuch Unterrichtsplanung: Grundfragen, Modelle, Stufen, Dimensionen* (9., aktual. und überarb. Aufl.). Oldenbourg.
- Philipp, K. (2013). *Experimentelles Denken: Theoretische und empirische Konkretisierung einer mathematischen Kompetenz*. Zugl.: Freiburg (Breisgau), Pädag. Hochsch., Diss., 2012. *Freiburger Empirische Forschung in der Mathematikdidaktik: Bd. 1*. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01120-8>
- Plöger, W. (2008). *Unterrichtsplanung: Ein Lehr- und Arbeitsbuch für Studium und Seminar*. KSV, Kölner Studien-Verl.

- Pohlmann, B. & Möller, J. (2010). Fragebogen zur Erfassung der Motivation für die Wahl des Lehramtsstudiums (FEMOLA). *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 24(1), 73–84. <https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000005>
- Pospeschill, M. (2010). *Testtheorie, Testkonstruktion, Testevaluation* (1. Auflage). UTB GmbH; Ernst Reinhardt.
- Priemer, B. (2011). Was ist das Offene beim offenen Experimentieren? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 17, 315–337.
- Pugh, A. (2018). *Heterocyclic Chemistry*. ETP.
- Raab-Steiner, E. & Benesch, M. (2018). *Der Fragebogen: Von der Forschungsidee zur SPSS-Auswertung* (5. Aufl.). UTB: Schlüsselkompetenzen. facultas.
- Rakoczy, K., Klieme, E., Lipowsky, F. & Drollinger-Vetter, B. (2010). Strukturierung, kognitive Aktivität und Leistungsentwicklung im Mathematikunterricht Structure of Learning Content, Cognitive Activity and Achievement Development in Mathematics Instruction. *Unterrichtswissenschaft*(38), 229–246.
- Rank, A., Gebauer, S., Fölling-Albers, M. & Hartinger, A. (2011). Vom Wissen zum Handeln in Diagnose und Förderung.: Bedingungen des erfolgreichen Transfers einer situierten Lehrerfortbildung in die Praxis. *Zeitschrift für Grundschulforschung*, 4(2), 70–82.
- Rasch, B., Frieze, M., Hofmann, W. & Naumann, E. (2014a). *Quantitative Methoden 1: Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler* (4. Aufl.). *Springer-Lehrbuch*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-43524-3>
- Rasch, B., Frieze, M., Hofmann, W. & Naumann, E. (2014b). *Quantitative Methoden 2: Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler* (4. Aufl.). *Springer-Lehrbuch*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-43548-9>
- Razali, N. M. & Wah, B. Y. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), 21–33.
- Reinders, H., Ditton, H., Gräsel, C. & Gniewosz, B. (Hrsg.). (2015). *Empirische Bildungsforschung: Strukturen und Methoden* (2., überarbeitete Aufl. 2015). Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: VS Verlag für Sozialwissenschaften. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-19992-4>
- Reiners, C. S. & Saborowski, J. (2017). Auf dem Weg zum Chemieunterricht. In C. S. Reiners (Hrsg.), *Chemie vermitteln: Fachdidaktische Grundlagen und Implikationen* (S. 91–146). Springer Berlin Heidelberg; Imprint; Springer Spektrum.
- Reinfried, S., Mathis, C. & Kattmann, U. (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.
- Reinold, M. (2015). *Lehrerfortbildungen zur Förderung prozessbezogener Kompetenzen: Eine Analyse der Effekte auf den Wirkungsebenen Akzeptanz und Überzeugungen* [Dissertation]. Universität Dortmund, Dortmund. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-11882-2>

- Reischmann, J. (2018). *Weiterbildungs-Evaluation: Lernerfolge messbar machen* (2. Aufl.). *Grundlagen der Weiterbildung*. Ziel.
- Rheinberg, F. & Vollmeyer, R. (2019). *Motivation* (9. Aufl.). *Kohlhammer-Urban-Taschenbücher: Band 6*. Verlag W. Kohlhammer.
- Richter, D., Poldi, K., Haag, N. & Pant, H. A. (2013). Aspekte der Aus- und Fortbildung von Mathematik- und Naturwissenschaftslehrkräften im Ländervergleich. In H. A. Pant, P. Stanat, U. Schroeders, A. Roppelt, T. Siegle & C. Pöhlmann (Hrsg.), *Empirische Erziehungswissenschaft 2013/14. IQB-Ländervergleich 2012: Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I* (S. 367–390). Waxmann Verlag.
- Richter, E., Richter, D. & Marx, A. (2018). Was hindert Lehrkräfte an Fortbildungen teilzunehmen? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 21(5), 1021–1043. <https://doi.org/10.1007/s11618-018-0820-4>
- Riedel, E. & Meyer, H.-J. (2018). *Allgemeine und Anorganische Chemie* (12. Aufl.). *De Gruyter Studium*. De Gruyter.
- Riedinger, A. (2010). *Lehrerfortbildung in Baden-Württemberg*. Zugl.; Mannheim, Univ., Diss., 2009. *Schriftenreihe Studien zur Berufspädagogik: Bd. 36*. Kovač.
- Robin, M. B. (1962). The Color and Electronic Configurations of Prussian Blue. *Inorganic Chemistry*, 1(2), 337–342. <https://doi.org/10.1021/ic50002a028>
- Rodriguez, M. C. (2005). Three Options Are Optimal for Multiple-Choice Items: A Meta-Analysis of 80 Years of Research. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 24(2), 3–13. <https://doi.org/10.1111/j.1745-3992.2005.00006.x>
- Rönnebeck, S., Bernholt, S. & Ropohl, M. (2016). Searching for a common ground – A literature review of empirical research on scientific inquiry activities. *Studies in Science Education*, 52(2), 161–197. <https://doi.org/10.1080/03057267.2016.1206351>
- Ropohl, M. & Scheuermann, H. (2018). Welche Rückmeldungen wirken am besten? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24(1), 151–165. <https://doi.org/10.1007/s40573-018-0080-0>
- Ropohl, M., Schönau, K. & Parchmann, I. (2016). Welche Wünsche und Erwartungen haben Lehrkräfte an aktuelle Forschung als Gegenstand von Fortbildungsveranstaltungen? *CHEMKON*, 23(1), 25–33. <https://doi.org/10.1002/ckon.201610256>
- Rost, D. H. (2013). *Handbuch Intelligenz* (1. Aufl.). Beltz.
- Roth, K. J., Druker, S. L., Garnier, H. E., Lemmens, M., Chen, C [Catherine], Kawanaka, T., Rasmussen, D., Trubacova, S., Warvi, D., Okamoto, Y., Gonzales, P., Stigler, J. & Gallimore, R. (2006). *Teaching Science in Five Countries: Results From the TIMSS 1999 Video Study Statistical Analysis Report (NCES 2006-011)*. U.S. Department of Education, National Center for Education Statistics.
- 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>
- Sailer, M., Murböck, J. & Fischer, F. (2017). *Digitale Bildung an bayerischen Schulen: Infrastruktur, Konzepte, Lehrerbildung und Unterricht*. vbw. https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Bildung/2017/Downloads/Bi-0146-001_vbw_Studie_Digitale-Bildung-an-bayerischen-Schulen.pdf
- Sälzer, C., Prenzel, M., Schiepe-Tiska, A. & Hammann, M. (2016). Schulische Rahmenbedingungen der Kompetenzentwicklung. In K. Reiss, C. Sälzer, A. Schiepe-Tiska, E. Klieme & O. Köller (Hrsg.), *PISA 2015: Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation* (S. 177–218). Waxmann.
- Sandfuchs, U. (2009). Grundfragen der Unterrichtsplanung. In K.-H. Arnold (Hrsg.), *UTB: Bd. 8423. Handbuch Unterricht* (2. Aufl., S. 512–519). Julius Klinkhardt.
- Scanlon, E., Anastopoulou, S., Kerawalla, L. & Mulholland, P. (2011). How technology resources can be used to represent personal inquiry and support students' understanding of it across contexts. *Journal of Computer Assisted Learning*, 27(6), 516–529. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2011.00414.x>
- Schäfer, T. (2016). *Methodenlehre und Statistik: Einführung in Datenerhebung, deskriptive Statistik und Inferenzstatistik* (1. Aufl.). *Basiswissen Psychologie*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-11936-2>
- Schecker, H. & Duit, R. (2018). Schülervorstellungen und Physiklernen. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (1. Aufl., S. 1–21). Springer Berlin Heidelberg.
- Schecker, H., Neumann, K., Theyßen, H., Eickhorst, B. & Dickmann, M. (2016). Stufen experimenteller Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22(1), 197–213. <https://doi.org/10.1007/s40573-016-0050-3>
- Schiefele, U. & Pekrun, R. (1996). Psychologische Modelle des fremdgesteuerten und selbstgesteuerten Lernens. In F. E. Weinert, N.-P. Birbaumer & C. F. Graumann (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie Praxisgebiete Pädagogische Psychologie: Bd. 2. Psychologie des Lernens und der Instruktion* (S. 249–273). Hogrefe Verl. für Psychologie.
- Schiepe-Tiska, A., Rönnebeck, S. & Neumann, K. (2019). Naturwissenschaftliche Kompetenz in PISA 2018 – aktueller Stand, Veränderungen und Implikationen für die naturwissenschaftliche Bildung in Deutschland. In K. Reiss, M. Weis, E. Klieme & O. Köller (Hrsg.), *PISA 2018: Grundbildung im internationalen Vergleich* (1. Aufl., S. 211–240). Waxmann.
- Schiepe-Tiska, A., Rönnebeck, S., Schöps, K., Neumann, K., Schmidtner, S., Parchmann, I. & Prenzel, M. (2016). Naturwissenschaftliche Kompetenz in PISA 2015 – Ergebnisse des internationalen Vergleichs mit einem modifizierten Testansatz. In K. Reiss, C. Sälzer, A. Schiepe-Tiska, E. Klieme & O. Köller (Hrsg.), *PISA 2015: Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation* (S. 45–98). Waxmann.

- Schiepe-Tiska, A., Schmidtner, S., Müller, K., Heine, J.-H., Knut, N. & Lüdtkke, O. (2016). Naturwissenschaftlicher Unterricht in Deutschland in PISA 2015 im internationalen Vergleich. In K. Reiss, C. Sälzer, A. Schiepe-Tiska, E. Klieme & O. Köller (Hrsg.), *PISA 2015: Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation* (S. 133–176). Waxmann.
- Schlittgen, R. (2004). *Statistische Auswertungen: Standardmethoden und Alternativen mit ihrer Durchführung in R. Lehr- und Handbücher der Statistik*. Oldenbourg. <https://doi.org/10.1524/9783486836264>
- Schmidkunz, H., Rentzsch, W. & Kunze-Snigula, H. (2019). *Chemische Freihandversuche*. Band 2 (1. Auflage (Überarbeitete Fassung der letzten Ausgabe von 2013)). Friedrich Verlag.
- Schmidt, P. (2019). *Allgemeine Chemie* (1st ed. 2019). <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57846-9>
- Schmidt, S. & Neu, C. (2004). Interviewstudie zum Fortbildungsverhalten von Chemielehrerinnen und -lehrern. In H. J. Bader & K. Höner (Hrsg.), *Frankfurter Beiträge zur Didaktik der Chemie: Untersuchung des Fortbildungsverhaltens und der Fortbildungswünsche von Chemielehrerinnen und Lehrer* (S. 55–108). Verlagsbuchhandlung Schutt.
- Schmidt-Weigand, F., Franke-Braun, G. & Hänze, M. (2008). Erhöhen gestufte Lernhilfen die Effektivität von Lösungsbeispielen? *Unterrichtswissenschaft*, 36(4), 365–384.
- Schmitt, A. (2016). *Entwicklung und Evaluation einer Chemielehrerfortbildung zum Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung* [Dissertation]. Logos Verlag Berlin GmbH, Berlin.
- Schmitz, G. S. & Schwarzer, R. (2000). Selbstwirksamkeitserwartung von Lehrern: Längsschnittbefunde mit einem neuen Instrument. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 14(1), 12–25. <https://doi.org/10.1024//1010-0652.14.1.12>
- Schnell, R., Hill, P. B. & Esser, E. (2018). *Methoden der empirischen Sozialforschung* (11. Aufl.). De Gruyter Studium. De Gruyter Oldenbourg.
- Schrader, F.-W. & Helmke, A. (2008). Determinanten der Schulleistung. In M. K. W. Schweer (Hrsg.), *Lehrer-Schüler-Interaktion* (S. 285–302). VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-91104-5_11
- Schreiber, N., Theyßen, H. & Schecker, H. (2009). Experimentelle Kompetenz messen?! *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 8(3), 92–101.
- Schröder, J., Riese, J., Vogelsang, C., Borowski, A., Buschhüter, D., Enkrott, P., Kempin, M., Kulgemeyer, C., Reinhold, P. & Schecker, H. (2020). Die Messung der Fähigkeit zur Unterrichtsplanung im Fach Physik mit Hilfe eines standardisierten Perforanztests. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1007/S40573-020-00115-W>
- Schroeder, C. M., Scott, T. P., Tolson, H., Huang, T.-Y. & Lee, Y.-H. (2007). A meta-analysis of national research: Effects of teaching strategies on student achievement in

- science in the United States. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(10), 1436–1460. <https://doi.org/10.1002/tea.20212>
- Schüle, C., Besa, K.-S. & Arnold, K.-H. (2017). Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zur Erfassung der allgemeinen Kompetenz. In S. Wernke & K. Zierer (Hrsg.), *Die Unterrichtsplanung: ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?! Status Quo und Perspektiven aus Sicht der empirischen Forschung* (S. 17–31). Verlag Julius Klinkhardt.
- Schulz, A [Alexandra]. (2011). *Experimentierspezifische Qualitätsmerkmale im Chemieunterricht : eine Videostudie*. Logos.
- Schwab, J. J. (1962). The teaching of science as enquiry. In J. J. Schwab & P. F. Brandwein (Hrsg.), *The teaching of science* (S. 3–103). Harvard University Press.
- Schwaighofer, M., Heene, M. & Bühner, M. (2019). Diagnostik, Evaluation und Forschungsmethoden. In D. Urhahne, M. Dresel & F. Fischer (Hrsg.), *Psychologie für den Lehrberuf* (S. 471–493). Springer.
- Schweda, E. (2016). *Jander/Blasius anorganische Chemie* (18., völlig neu bearbeitete Auflage). Hirzel Verlag.
- Schwichow, M., Christoph, S. & Härtig, H. (2015). Förderung der Variablen-Kontroll-Strategie im Physikunterricht. *Mathematisch und naturwissenschaftlicher Unterricht (MNU)*, 68(6), 346–350.
- Seel, A. (1997). Von der Unterrichtsplanung zum konkreten Lehrerhandeln: Eine Untersuchung zum Zusammenhang von Planung und Durchführung von Unterricht bei Hauptschullehrerstudentinnen. *Unterrichtswissenschaft*, 25(3), 257–273.
- Seidel, T. (2009). Klassenführung. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 135–148). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-88573-3_6
- Seidel, T., Prenzel, M., Rimmel, R., Dalehefte, I. M., Herweg, C., Kobarg, M. & Schwindt, K. (2006). Blicke auf den Physikunterricht. Ergebnisse der IPN Videostudie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52(6), 799–821.
- Seidel, T. & Shavelson, R. J. (2007). Teaching Effectiveness Research in the Past Decade: The Role of Theory and Research Design in Disentangling Meta-Analysis Results. *Review of Educational Research*, 77(4), 454–499. <https://doi.org/10.3102/0034654307310317>
- Seiler, F. & Tepner, O. (2019). Entwicklung eines Seminarkonzepts zur Planung von Experimenten. In C. Maurer (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Kiel 2018*.
- Seiler, F. & Tepner, O. (2020). Evaluation eines Seminars zur Planung selbstgesteuerter Experimente. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen: Jahrestagung in Wien 2019* (S. 645–648).
- Senkbeil, M., Drechsel, B. & Schöps, K. (2007). Schulische Rahmenbedingungen und Lerngelegenheiten für die Naturwissenschaften. In M. Prenzel, C. Artelt, J. Baumert,

- W. Blum & M. Hammann (Hrsg.), *PISA 2006: Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie* (S. 181–202). Waxmann.
- Shulman, L. (1986). Those Who Understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15, 4–14.
- Shulman, L. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1–23.
- Shute, V. J. (2008). Focus on Formative Feedback. *Review of Educational Research*, 78(1), 153–189. <https://doi.org/10.3102/0034654307313795>
- Siler, S. A. & Klahr, D. (2012). Detecting, Classifying, and Remediating. In R. W. Proctor & E. J. Capaldi (Hrsg.), *Psychology of science: Implicit and explicit processes* (S. 137–180). Oxford Univ. Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199753628.003.0007>
- Simon, H. A. & Lea, G. (1974). Problem solving and rule induction: A unified view. In Gregg, L., W. (Hrsg.), *Knowledge and cognition* (S. 105–127). Lawrence Erlbaum.
- Smith, A. B., Rush, R., Fallowfield, L. J., Velikova, G. & Sharpe, M. (2008). Rasch fit statistics and sample size considerations for polytomous data. *BMC medical research methodology*, 8, 33. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-8-33>
- Springborg, M. (2016). *Einführung in die Physikalische Chemie. De Gruyter Studium*. De Gruyter.
- Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung. (24. Mai 2020). *LehrplanPLUS - Gymnasium - 8 - Chemie - Fachlehrpläne*. <https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/8/chemie>
- Staer, H., Goodrum, D. & Hackling, M. (1998). High School Laboratory Work in Western Australia: Openness to Inquiry. *Research in Science Education*, 28(2), 219–228.
- Stäudel, L. (2007). Guter Unterricht mit guten Aufgaben: Beispiele aus den naturwissenschaftlichen Fächern. *Friedrich Jahresheft*, 25, 47–49.
- Steinskog, D. J., Tjøstheim, D. B. & Kvamstø, N. G. (2007). A Cautionary Note on the Use of the Kolmogorov–Smirnov Test for Normality. *Monthly Weather Review*, 135(3), 1151–1157. <https://doi.org/10.1175/MWR3326.1>
- Steland, A. (2004). *Mathematische Grundlagen der empirischen Forschung. Statistik und ihre Anwendungen*. Springer Berlin Heidelberg; Imprint; Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-17064-5>
- Stiller, J. (2015). *Scientific Inquiry im Chemieunterricht: Eine Videoanalyse zur Umsetzung von Erkenntnisgewinnungsprozessen im internationalen und schulstufenübergreifenden Vergleich*. Humbolt-Universität zu Berlin, Berlin.
- Stintzing, F. C. & Carle, R. (2004). Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in Food Science & Technology*, 15(1), 19–38. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.07.004>
- Sumfleth, E. & Walpuski, M. (2012). Experimental Learning Environments. In N. M. Seel (Hrsg.), *Springer reference. Encyclopedia of the sciences of learning* (S. 1229–1233). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_1868

- Tebrügge, A. (2001). *Unterrichtsplanung zwischen didaktischen Ansprüchen und alltäglicher Berufs Anforderung: Eine empirische Studie zum Planungshandeln von Lehrerinnen und Lehrern in den Fächern Deutsch, Mathematik und Chemie*. Zugl.: Bielefeld, Univ., Diss., 1999. *Europäische Hochschulschriften. Reihe XI, Pädagogik Publications universitaires européennes. Série XI, Pédagogie European university studies. Series XI, Education*: v. 829. P. Lang.
- Telser, V. (2019). *Erfassung und Förderung experimenteller Kompetenz von Lehrkräften im Fach Chemie. Studien zum Physik- und Chemielernen: Band 282*. Logos Verlag.
- Tepner, O. & Dollny, S. (2014a). Entwicklung eines Testverfahrens zur Analyse fachdidaktischen Wissens. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 311–323). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0_25
- Tepner, O. & Dollny, S. (2014b). Measuring Chemistry Teachers' Content Knowledge: Is it Correlated to Pedagogical Content Knowledge? In C. Bruguière, A. Tiberghien & P. Clément (Hrsg.), *Contributions from Science Education Research: Bd. 1. Topics and Trends in Current Science Education: 9th ESERA Conference Selected Contributions* (S. 243–254). Springer Netherlands; Imprint; Springer.
- Tepner, O., Roeder, B. & Melle, I. (2010). Effektivität von Aufgaben im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 209–233.
- Tepner, O. & Sumfleth, E. (2019). Postscript. In A. Hume, R. Cooper & A. Borowski (Hrsg.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (S. 315–329). Springer.
- Terhart, E. (2005). Standards für die Lehrerbildung - ein Kommentar. *Zeitschrift für Pädagogik*, 51(2275-279).
- Tesch, M. & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 51–69.
- Thiel, F., Richter, S. G. & Ophardt, D. (2012). Steuerung von Übergängen im Unterricht. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 15(4), 727–752.
- Timperley, H., Wilson, A., Barrar, H. & Fung, I. (2007). *Teacher professional learning and development: Best evidence synthesis iteration (BES)*. Crown.
- Tinoca, L. T. (2004). *From professional development for science teachers to student learning in science*. University of Texas, Austin.
- Tipler, P. A., Mosca, G. & Kersten, P. (2019). *Physik: Für Studierende der Naturwissenschaften und Technik* (8th ed. 2019). <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58281-7>
- Tønnesen, H. H. & Karlsen, J. (1985). Studies on curcumin and curcuminoids. VI. Kinetics of curcumin degradation in aqueous solution. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*, 180(5), 402–404. <https://doi.org/10.1007/BF01027775>
- Törner, G. (2015). Verborgene Bedingungs- und Gelingensfaktoren bei Fortbildungsmaßnahmen in der Lehrerbildung Mathematik – subjektive Erfahrungen aus einer

- deutschen Perspektive. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 36(2), 195–232. <https://doi.org/10.1007/s13138-015-0078-9>
- Trautmann, M. & Wischer, B. (2008). Das Konzept der Inneren Differenzierung: Eine vergleichende Analyse der Diskussion der 1970er Jahre mit dem aktuellen Heterogenitätskurs. In M. A. Meyer, S. Hellekamps & M. Prenzel (Hrsg.), *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft Sonderheft: Bd. 9. Perspektiven der Didaktik: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* (S. 159–172). VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Tschannen-Moran, M. & Hoy, A. W. (2001). Teacher efficacy: capturing an elusive construct. *Teaching and Teacher Education*, 17(7), 783–805. [https://doi.org/10.1016/S0742-051X\(01\)00036-1](https://doi.org/10.1016/S0742-051X(01)00036-1)
- Ordnung der Universität Regensburg über die Grundsätze zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis (1999).
- v. Aufschnaiter, C. & v. Aufschnaiter, S. (2001). Eine neue Aufgabenkultur für den Physikunterricht. *MNU*, 409–416.
- van der Kleij, F. M., Feskens, R. C. W. & Eggen, T. J. H. M. (2015). Effects of Feedback in a Computer-Based Learning Environment on Students' Learning Outcomes. *Review of Educational Research*, 85(4), 475–511. <https://doi.org/10.3102/0034654314564881>
- van Driel, J. H. & Berry, A. (2012). Teacher Professional Development Focusing on Pedagogical Content Knowledge. *Educational Researcher*, 41(1), 26–28. <https://doi.org/10.3102/0013189X11431010>
- van Driel, J. H., Jong, O. de & Verloop, N. (2002). The development of preservice chemistry teachers' pedagogical content knowledge. *Science Education*, 86(4), 572–590. <https://doi.org/10.1002/sce.10010>
- van Veen, K., Zwart, R. & Meirink, J. (2012). What makes teacher professional development effective? A literature review. In M. Kooy & K. van Veen (Hrsg.), *Routledge research in education: Bd. 62. Teacher learning that matters: International perspectives* (S. 3–21). Routledge.
- Vasilyeva, E., Puuronen, S., Pechenizkiy, M. & Rasanen, P. (2007). Feedback adaptation in web-based learning systems. *International Journal of Continuing Engineering Education and Life-Long Learning*, 17(4/5), Artikel 15046, 337. <https://doi.org/10.1504/IJCEELL.2007.015046>
- Vinke, A., Marbach, G. & Vinke, J. (2013). *Chemie für Ingenieure* (3., 3., korrigierte und überarbeitete Aufl.). De Gruyter. <https://doi.org/10.1524/9783486780963>
- Vogelsang, C. & Riese, J. (2017). Wann ist eine Unterrichtsplanung "gut"? In S. Wernke & K. Zierer (Hrsg.), *Die Unterrichtsplanung: ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?! Status Quo und Perspektiven aus Sicht der empirischen Forschung* (S. 47–61). Verlag Julius Klinkhardt.

- Vorholzer, A., Aufschnaiter, C. von & Kirschner, S. (2016). Entwicklung und Erprobung eines Tests zur Erfassung des Verständnisses experimenteller Denk- und Arbeitsweisen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22(1), 25–41. <https://doi.org/10.1007/s40573-015-0039-3>
- Wall, K., Higgins, S., Glasner, E., Mahmoud, U. & Gormally, J. (2009). Teacher enquiry as a tool for professional development: Investigating pupils' effective Talk While Learning. *The Australian Educational Researcher*, 36(2), 93–117. <https://doi.org/10.1007/BF03216901>
- Walpuski, M. & Sumfleth, E. (2007). Strukturierungshilfen und Feedback zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Chemieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 181–198.
- Weiler, E. W. & Nover, L. (2008). *Allgemeine und molekulare Botanik* (1. Aufl.). Thieme. <http://ebooks.thieme.de/9783131476616/1> <https://doi.org/10.1055/b-002-29667>
- Weinert, F. E. (1982). Selbstgesteuertes Lernen als Voraussetzung, Methode und Ziel des Unterrichts. *Unterrichtswissenschaft*, 10(2), 99–110.
- Weinert, F. E. (1996). Lerntheorien und Instruktionsmodell. In F. E. Weinert, N.-P. Birbaumer & C. F. Graumann (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie Praxisgebiete Pädagogische Psychologie: Bd. 2. Psychologie des Lernens und der Instruktion* (S. 1–48). Hogrefe Verl. für Psychologie.
- Weinert, F. E. (2001a). Concept of competence: A conceptual clarification. In D. S. Rychen & L. H. Salganik (Hrsg.), *Defining and selecting key competencies* (S. 45–65). Hogrefe & Huber.
- Weinert, F. E. (Hrsg.). (2001b). *Beltz-Pädagogik. Leistungsmessungen in Schulen*. Beltz.
- Weingarten, J. (2019). *Wie planen angehende Lehrkräfte ihren Unterricht? Empirische Analysen zur kompetenzorientierten Gestaltung von Lernangeboten* (1. Aufl.). *Internationale Hochschulschriften: Band 659*. Waxmann.
- Wellnitz, N., Fischer, H. E., Kauertz, A., Mayer, J., Neumann, I., Pant, H. A., Sumfleth, E. & Walpuski, M. (2012). Evaluation der Bildungsstandards – eine fächerübergreifende Testkonzeption für den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18.
- Wellnitz, N. & Mayer, J. (2013). Erkenntnismethoden in der Biologie – Entwicklung und Evaluation eines Kompetenzmodells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19.
- Welzel, M., Haller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumara, P., Niedderer, H., Paulsen, A., Robinault, K. & Aufschnaiter, S. von (1998). Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden: Ergebnisse einer europäischen Umfrage. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4(1), 29–44.
- Wentura, D. & Pospeschill, M. (2015). *Multivariate Datenanalyse: Eine kompakte Einführung*. *Basiswissen Psychologie*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-93435-8>

- Wernke, S. & Zierer, K. (2017). Die Unterrichtsplanung: Ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?! In S. Wernke & K. Zierer (Hrsg.), *Die Unterrichtsplanung: ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?! Status Quo und Perspektiven aus Sicht der empirischen Forschung* (S. 7–16). Verlag Julius Klinkhardt.
- Wheeler, G. (2000). The three faces of inquiry. In J. Minstrell & E. van Zee (Hrsg.), *AAAS Publication: 00-1S. Inquiring into inquiry learning and teaching in science* (S. 14–19). AAAS.
- Wiese, G. & Veith, J. A. (1975). Die Komplexbildung der Zitronensäure, I / The Formation of Complexes with Citric Acid, I. *Zeitschrift für Naturforschung B*, 30(5-6), 446–453. <https://doi.org/10.1515/znb-1975-5-627>
- Wilcox, R. R. (1981). Analyzing the Distractors of Multiple-Choice Test Items or Partitioning Multinomial Cell Probabilities with Respect to a Standard. *Educational and Psychological Measurement*, 41, 1051–1068.
- Wild, J. & Schilcher, A. (2019). Das Regensburger Analysetool für Texte – RATTE. In A. Peter-Wehner & F. Kirchner (Hrsg.), *Sprachschätze: Materialsammlung (1-4)*. o.V.
- Wilson, S. M. (2013). Professional development for science teachers. *Science (New York, N.Y.)*, 340(6130), 310–313. <https://doi.org/10.1126/science.1230725>
- Windschitl, M. (2004). Folk theories of 'inquiry': How preservice teachers reproduce the discourse and practices of an atheoretical scientific method. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 481–512. <https://doi.org/10.1002/tea.20010>
- 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.
- Witterholt, M., Goedhart, M., Suhre, C. & van Streun, A. (2012). The Interconnected Model of Professional Growth as a means to assess the development of a mathematics teacher. *Teaching and Teacher Education*, 28(5), 661–674. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2012.01.003>
- Wodzinski, R. (2003). Lernen mit gestuften Hilfen: Gestufte Lernhilfen fördern selbstständiges Lernen und lassen individuelle Lernwege zu. *Physik Journal*, 12(3), 45–49.
- Wolf, J., Seiffert, J., Seifert, A., Rothland, M. & Brauch, N. (2017). Unterrichtsplanung im Fach Geschichte: Modellierung und Erfassung geschichtsdidaktischen Planungs-wissens von Lehramtstudierenden. In S. Wernke & K. Zierer (Hrsg.), *Die Unterrichtsplanung: ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?! Status Quo und Perspektiven aus Sicht der empirischen Forschung* (S. 62–76). Verlag Julius Klinkhardt.
- Wollrab, A. (2014). *Organische Chemie: Eine Einführung für Lehramts- und Nebenfachstudenten* (4. Aufl. 2014). Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-45144-7>
- Wrolstad, R. E., Durst, R. W. & Lee, J. (2005). Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends in Food Science & Technology*, 16(9), 423–428. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.019>

- Wyler, H. (1969). Die Betalaine. *Chemie in unserer Zeit*, 3(5), 146–151. <https://doi.org/10.1002/ciuz.19690030504>
- Yoon, K.-S., Duncan, T., Lee, S. W.-Y., Scarloss, B. & Shapley, K. L. (2007). Reviewing the evidence on how teacher professional development affects student achievement. *Issues & Answers Report*(33), 1–62.
- Yoshida, K., Mori, M. & Kondo, T. (2009). Blue flower color development by anthocyanins: from chemical structure to cell physiology. *Natural product reports*, 26(7), 884–915. <https://doi.org/10.1039/b800165k>
- Zhang, Y., Butelli, E. & Martin, C. (2014). Engineering anthocyanin biosynthesis in plants. *Current opinion in plant biology*, 19, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2014.05.011>
- Ziegler, A. & Stöger, H. (2009). *Lernökologische Strategien für Schüler der 4. Jahrgangsstufe Grundschule zur Verbesserung mathematischer Kompetenzen* (2. Aufl.). Pabst Science Publ.
- Zierer, K., Werner, J. & Wernke, S. (2015). Besser planen? Mit Modell! Empirisch basierte Überlegungen zur Entwicklung eines Planungskompetenzmodells. *DDS - Die deutsche Schule*, 107(4), 375–395.
- Zimmerman, B. J. (1989). A social cognitive view of self-regulated academic learning. *Journal of Educational Psychology*, 81(3), 329–339. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.81.3.329>
- Zimmerman, B. J. & Schunk, D. H. (2004). Self-Regulating Intellectual Processes and Outcomes: A Social Cognitive Perspective. In D. Yun Dai & R. J. Sternberg (Hrsg.), *The educational psychology series. Motivation, Emotion, and Cognition: Integrative Perspectives on Intellectual Functioning and Development* (S. 323–349). Mahwah, New Jersey.
- Zion, M., Slezak, M., Shapira, D., Link, E., Bashan, N., Brumer, M., Orian, T., Nussimowitz, R., Court, D., Agrest, B., Mendelovici, R. & Valanides, N. (2004). Dynamic, open inquiry in biology learning. *Science Education*, 88(5), 728–753.

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Angebots-Nutzungsmodell (Helmke, 2015)	7
Abbildung 2-2: Modell professioneller Handlungskompetenz (Baumert & Kunter, 2011)	9
Abbildung 2-3: PID-Modell (Blömeke, Gustafsson & Shavelson, 2015).....	10
Abbildung 2-4: Refined Consensus Model of PCK (Carlson et al., 2019, S. 83)	12
Abbildung 2-5: Modell der didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al., 1997).....	15
Abbildung 2-6: Schematisches Kompetenzmodell zur Planungskompetenz (König, 2019)	16
Abbildung 2-7: Interconnected Model of Professional Growth (IMPG) nach Clarke und Hollingsworth (2002)	21
Abbildung 2-8: Vereinfachtes Angebots-Nutzungs-Modell der Lehrkräftefortbildung (Lipowsky, 2014)	23
Abbildung 2-9: Prozessmodell zum selbstgesteuerten Lernen (Ziegler & Stöger, 2009)	37
Abbildung 2-10: Dimensionen und ihre möglichen Öffnungsgrade (Priemer, 2011)....	41
Abbildung 2-11: Facettenmodell experimenteller Kompetenz (Nawrath et al., 2011) ..	50
Abbildung 4-1: Forschungsdesign der Hauptstudie	63
Abbildung 4-2: Wright Map der Posttest-Daten der Hauptstudie	72
Abbildung 4-3: Validierung - Mittelwerte der Prä- und Post des Tests zur experimentellen Planungskompetenz	74
Abbildung 4-4: Pilotierung I - Stichprobenzusammensetzung.....	78
Abbildung 4-5: Pilotierung II - Stichprobenzusammensetzung	79
Abbildung 4-6: Hauptstudie - Stichprobenzusammensetzung	80
Abbildung 4-7: Follow-Up-Studie - Stichprobenzusammensetzung	80
Abbildung 4-8: Strukturierungskonzept	82
Abbildung 4-9: Handlungsoptionen zur Öffnung des Fachinhalts	83
Abbildung 4-10: Strategische Vorüberlegungen	83
Abbildung 4-11: Mögliche Festlegung der strategischen Entscheidung	84
Abbildung 4-12: Methodische Umsetzung der strategischen Vorüberlegungen.....	84
Abbildung 4-13: Einheitliche Struktur der Arbeitsblätter	88
Abbildung 4-14: Einheitliche Struktur der Tippkarten	89
Abbildung 4-15: Mögliche Strukturen des Curcumins.....	89
Abbildung 4-16: Struktur von Betanin	91
Abbildung 4-17: Abbau von Betanidin im stark alkalischen Milieu.....	91
Abbildung 4-18: Gemeinsame Struktur von Anthocyanen	93
Abbildung 4-19: Mögliche Strukturen von Anthocyan-Derivaten in Abhängigkeit vom pH-Wert.....	93
Abbildung 4-20: Komplexbildung der Anthocyane mit Aluminium(III)-Kationen.....	94
Abbildung 4-21: Reaktionsgleichung für die Bildung von Berliner Blau.....	94

Abbildung 4-22: Reaktionsgleichung für den Nachweis von Calcium-Kationen	95
Abbildung 4-23: Komplexbildung bei dem Nachweis von Magnesium-Kation.....	95
Abbildung 4-24: Reaktionsgleichung für den Nachweis von Chlorid-Anionen	95
Abbildung 4-25: Reaktionsgleichung für den Nachweis von Sulfat-Anionen.....	96
Abbildung 4-26: Anregung des Valenzelektrons eines Natrium-Atoms.....	97
Abbildung 4-27: Vereinfachter, zweidimensionaler Hydratisierungsprozess von Natriumchlorid	99
Abbildung 4-28: Enthalpie-Kreisprozess für den Löseprozess von Natriumchlorid in Wasser	100
Abbildung 4-29: Dissoziation des Citronensäure-Moleküls in Wasser	102
Abbildung 4-30: Komplexbildung von einem Citronensäure-Molekül mit einem Eisen(II)-Kation.....	103
Abbildung 4-31: Reaktion von Natriumhydrogencarbonat mit Wasser	103
Abbildung 4-32: Reaktion von Natriumhydrogencarbonat mit Citronensäure	103
Abbildung 4-33: Kalkwasserprobe zum Nachweis von Kohlenstoffdioxid.....	103
Abbildung 4-34: Weiterreaktion von Calciumcarbonat mit Kohlenstoffdioxid und Wasser	103
Abbildung 6-1: Pilotierung I - Mittelwerte Prä- und Posttest	108
Abbildung 6-2: Pilotierung II - Mittelwerte Prä- und Posttest	112
Abbildung 7-1: Hauptstudie - Mittelwerte Prä- und Posttest	116
Abbildung 7-2: Hauptstudie - Mittelwerte Prä-, Post- und Follow-Up-Test.....	118
Abbildung 7-3: Follow-Up-Studie - Ergebnisse der Befragung zur Verwendung und Einsatz	119
Abbildung 40: Ergebnis der Berechnung des Stichprobenumfangs mittels der Software G*Power	243

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Dimensionen des professionellen Wissens nach Shulman (1987).....	11
Tabelle 2-2: „Didaktische Analyse“ für die Unterrichtsplanung (K.-H. Arnold & Koch-Priewe, 2010).....	16
Tabelle 2-3: Schulische Rahmenbedingungen nach Hertel et al. (2010)	18
Tabelle 2-4: Modelle zur Wirkung von Lehrkräftefortbildungen	21
Tabelle 2-5: Anknüpfungspunkte für effektive Lehrkräftefortbildungen nach Capps et al. (2012)	22
Tabelle 2-6: Faktoren für effektive PD-Maßnahmen nach Timperley et al. (2007).....	24
Tabelle 2-7: Mögliche Merkmale einer effektiven PD im naturwissenschaftlichen Bereich (Capps et al., 2012; Darling-Hammond & McLaughlin, 2011; Loucks-Horsley, 2010)	24
Tabelle 2-8: Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung	27
Tabelle 2-9: Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife im Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung.....	28
Tabelle 2-10: Auszug aus den bayerischen Lehrplänen für das Fach Chemie.....	29
Tabelle 2-11: Vergleich der Practices for K-12 Classrooms mit den Standards der Erkenntnisgewinnungskompetenz für die allgemeine Hochschulreife	30
Tabelle 2-12: Ziele des Experimentierens nach Hodson (2014)	32
Tabelle 2-13: Mögliche Phasierungen eines Experimentierprozesses	33
Tabelle 2-14: Wesentliche Merkmale eines offenen Experimentier- und Unterrichtsansatzes (National Research Council, 2000, S. 25).....	38
Tabelle 2-15: Ausgewählte Aspekte für den experimentellen, naturwissenschaftlichen Unterricht nach dem National Research Council (2015).....	38
Tabelle 2-16: Kategorien zu Aktivitäten der Lernenden bezüglich geöffneter Experimentieransätze nach Rönnebeck et al. (2016).....	39
Tabelle 2-17: Öffnungsgrade beim Experimentieren nach Schwab (1962) und Herron (1971)	39
Tabelle 2-18: Öffnungsgrade beim Experimentieren nach Buck et al. (2008).....	40
Tabelle 2-19: Mögliche Öffnungsgrade beim Experimentieren.....	41
Tabelle 2-20: Muster des Naturwissenschaftsunterrichts in Deutschland mit den prozentualen Häufigkeiten.....	43
Tabelle 2-21: Empirische Befunde zum angeleiteten Experimentieren	45
Tabelle 2-22: Empirische Befunde zum selbstgesteuerten Experimentieren	46
Tabelle 2-23: Lernhilfearten nach Franke-Braun et al. (2008).....	47
Tabelle 2-24: Ausgewählte Formen des Feedbacks nach Narciss (2006).....	48
Tabelle 4-1: Cronbachs-Alpha-Werte und ihre Interpretation (Bühner, 2011).....	56
Tabelle 4-2: Korrelationen und deren Interpretation (Bühl, 2019)	57
Tabelle 4-3: Angabe der Signifikanzen (Bühl, 2019).....	58
Tabelle 4-4: Grenzen der Effektstärke d_z (Cohen, 1988)	58

Tabelle 4-5: Grenzen der Effektstärke r (Cohen, 1988)	59
Tabelle 4-6: Grenzen der Effektstärke η^2 (Cohen, 1988)	59
Tabelle 4-7: Zeit- und Arbeitsplan	62
Tabelle 4-8: Stufen der Testentwicklung (Bühner, 2011)	63
Tabelle 4-9: Konstrukte der einzelnen Fragen	64
Tabelle 4-10: Berechnung der Lesedauer sowie des gSmog-Werts	66
Tabelle 4-11: Multiple-Choice-Multiple-Select-Frage aus dem finalen Messinstrument	67
Tabelle 4-12: Zuordnungsfrage aus dem finalen Messinstrument	67
Tabelle 4-13: Pilotierung I - Reliabilitätsstatistiken	69
Tabelle 4-14: Pilotierung II - Reliabilitätsstatistiken	69
Tabelle 4-15: Hauptstudie - Reliabilitätsstatistiken	69
Tabelle 4-16: Itemschwierigkeiten der Posttest-Daten der Hauptstudie	70
Tabelle 4-17: Validierung - Normalverteilung des Tests zur experimentellen Planungskompetenz	73
Tabelle 4-18: Validierung - Deskriptive Statistiken und Inferenzstatistiken des Tests zur experimentellen Planungskompetenz	73
Tabelle 4-19: Validierung - Normalverteilung des Tests zum experimentell- fachdidaktischen Wissen	74
Tabelle 4-20: Validierung - Reliabilitätsstatistik des Tests zum experimentell- fachdidaktischen Wissen	75
Tabelle 4-21: Validierung - Korrelation der Daten des Tests zur experimentellen Planungskompetenz und des Tests zum experimentell-fachdidaktischen Wissen	75
Tabelle 4-22: Überblick der eingesetzten Messinstrumente.....	75
Tabelle 4-23: Fortbildungstermine und Stichprobenzusammensetzung	77
Tabelle 4-24: Zeitliche Abfolge der Lehrkräftefortbildung	81
Tabelle 4-25: Selbstgesteuerte Beispielexperimente mit Lehrplanverortung.....	86
Tabelle 4-26: Experimentierkoffer der Hauptstudie.....	87
Tabelle 4-27: Dissoziation von Curcumin in wässriger Lösung	90
Tabelle 4-28: Dissoziation des Betanin-Moleküls im sauren Milieu	91
Tabelle 4-29: Gängige Anthocyane	93
Tabelle 4-30: Vorgänge bei der Flammenfärbung	97
Tabelle 4-31: Charakteristische Flammenfärbung einiger Metalle	97
Tabelle 4-32: Bestandteile der Born-Landé-Gleichung mit Angaben für Natriumchlorid	98
Tabelle 4-33: Lösungsenthalpie des Löseprozess von Natriumchlorid in Wasser	99
Tabelle 4-34: Bestandteile der Formel 4-4 und Formel 4-5	101
Tabelle 4-35: Bestandteile der Formel 4-6 und Formel 4-7	102
Tabelle 5-1: Präpilotierung - Reliabilitätsstatistiken zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation	105

Tabelle 5-2: Präpilotierung - Deskriptive Statistiken zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation	106
Tabelle 5-3: Präpilotierung - Zusammengefasste Kommentare zur Zufriedenheit mit der Lehrkräftefortbildung	106
Tabelle 6-1: Pilotierung I - Test auf Normalverteilung.....	107
Tabelle 6-2: Pilotierung I - Deskriptive Statistiken und Inferenzstatistiken	108
Tabelle 6-3: Pilotierung I - Reliabilitätsstatistiken zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation	109
Tabelle 6-4: Pilotierung I - Deskriptive Statistiken zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation	109
Tabelle 6-5: Pilotierung I - Zusammengefasste Kommentare zur Zufriedenheit mit der Lehrkräftefortbildung	109
Tabelle 6-6: Pilotierung I - Korrelationen der Aspekte zur Bewertung der Fortbildung mit den residualen Lernzuwächsen.....	110
Tabelle 6-7: Pilotierung II - Test auf Normalverteilung	111
Tabelle 6-8: Pilotierung II - Deskriptive Statistiken und Inferenzstatistiken.....	112
Tabelle 6-9: Pilotierung II - Reliabilitätsstatistiken zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation	112
Tabelle 6-10: Pilotierung II - Deskriptive Statistiken zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation	113
Tabelle 6-11: Pilotierung II - Zusammengefasste Kommentare zur Zufriedenheit mit der Lehrkräftefortbildung	113
Tabelle 6-12: Pilotierung II - Korrelation der Aspekte zur Bewertung der Fortbildung mit den residualen Lernzuwächsen.....	114
Tabelle 7-1: Hauptstudie - Test auf Normalverteilung.....	115
Tabelle 7-2: Hauptstudie - Deskriptive Statistiken und Inferenzstatistiken	116
Tabelle 7-3: Follow-Up-Studie - Test auf Normalverteilung.....	116
Tabelle 7-4: Hauptstudie - Mauchly-Test auf Sphärizität	117
Tabelle 7-5: Hauptstudie - Deskriptive Statistiken und Inferenzstatistiken für Prä-, Post- und Follow-Up-Test	117
Tabelle 7-6: Hauptstudie - Paarweise Vergleiche der Prä-, Post- und Follow-Up-Daten	118
Tabelle 14-1: Pilotierung I - Reliabilitätsanalyse der Rohdaten.....	224
Tabelle 14-2: Pilotierung I - Reliabilitätsanalyse mit akzeptablen Trennschärfen	225
Tabelle 14-3: Pilotierung II - Reliabilitätsanalyse der Rohdaten	226
Tabelle 14-4: Pilotierung II - Reliabilitätsanalyse mit akzeptablen Trennschärfen	228
Tabelle 14-5: Hauptstudie - Reliabilitätsanalyse der Rohdaten	229
Tabelle 14-6: Hauptstudie - Reliabilitätsanalyse mit akzeptablen Trennschärfen	231
Tabelle 14-7: Hauptstudie - Reliabilitätsanalyse der Rohdaten	232
Tabelle 14-8: Hauptstudie - Mean-Square-(MNSQ)-Fit-Statistik.....	232
Tabelle 14-9: Validierungsstudie - Deskriptive Statistik des Tests zur experimentellen Planungskompetenz	235

Tabelle 14-10: Validierungsstudie - Normalverteilung des Tests zur experimentellen Planungskompetenz.....	235
Tabelle 14-11: Validierungsstudie - T-Test des Tests zur experimentellen Planungskompetenz.....	235
Tabelle 14-12: Validierungsstudie - Normalverteilung des Tests zum experimentell-fachdidaktischen Wissen	236
Tabelle 14-13: Validierungsstudie - Reliabilität der Rohvalidierungsdaten des Tests zum experimentell-fachdidaktischen Wissen	236
Tabelle 14-14: Validierungsstudie - Reliabilität der Validierungsdaten des Tests zum experimentell-fachdidaktischen Wissen mit akzeptablen Trennschärfen	239
Tabelle 14-15: Validierungsstudie - Korrelation der Posttests des Tests zur experimentellen Planungskompetenz und des Tests zum experimentell-fachdidaktischen Wissen	240
Tabelle 14-16: Pilotierung I - Deskriptive Statistik.....	241
Tabelle 14-17: Pilotierung I - Normalverteilungstest.....	241
Tabelle 14-18: Pilotierung I - T-Test.....	241
Tabelle 14-19: Pilotierung II - Deskriptive Statistik	242
Tabelle 14-20: Pilotierung II - Normalverteilungstest	242
Tabelle 14-21: Pilotierung II - Wilcoxon-Test	242
Tabelle 14-22: Pilotierung II - T-Test	243
Tabelle 14-23: Hauptstudie - Deskriptive Statistik	244
Tabelle 14-24: Hauptstudie - Normalverteilungstest.....	244
Tabelle 14-25: Hauptstudie - Wilcoxon-Test	244
Tabelle 14-26: Hauptstudie - T-Test	244
Tabelle 14-27: Follow-Up-Studie - Deskriptive Statistik.....	245
Tabelle 14-28: Follow-Up-Studie - Normalverteilungstest.....	245
Tabelle 14-29: Hauptstudie - Mauchly-Test.....	245
Tabelle 14-30: Hauptstudie - ANOVA mit Messwertwiederholung.....	246
Tabelle 14-31: Hauptstudie - Bonferroni korrigierter post-hoc Test.....	246
Tabelle 14-32: Präpilotierung - Reliabilitätsanalyse des Fragebogens zur Zufriedenheit	248
Tabelle 14-33: Präpilotierung - Reliabilitätsanalyse des Fragebogens zum subjektiven Lernerfolg	248
Tabelle 14-34: Präpilotierung - Reliabilitätsanalyse des Fragebogens zur Motivation	249
Tabelle 14-35: Präpilotierung - Normalverteilungstest der Daten der Fragebögen zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation	249
Tabelle 14-36: Präpilotierung - Deskriptive Statistik der Fragebögen zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation	249
Tabelle 14-37: Pilotierung I - Reliabilitätsanalyse des Fragebogens zur Zufriedenheit	249
Tabelle 14-38: Pilotierung I - Reliabilitätsanalyse des Fragebogens zum subjektiven Lernerfolg	250

Tabelle 14-39: Pilotierung I - Reliabilitätsanalyse des Fragebogens zur Motivation ..	250
Tabelle 14-40: Pilotierung I - Normalverteilungstest der Daten der Fragebögen zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation	251
Tabelle 14-41: Pilotierung I - Deskriptive Statistik der Fragebögen zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation.....	251
Tabelle 14-42: Pilotierung II - Reliabilitätsanalyse des Fragebogens zur Zufriedenheit	251
Tabelle 14-43: Pilotierung II - Reliabilitätsanalyse des Fragebogens zum subjektiven Lernerfolg	252
Tabelle 14-44: Pilotierung II - Reliabilitätsanalyse des Fragebogens zur Motivation .	252
Tabelle 14-45: Pilotierung II - Normalverteilungstest der Daten der Fragebögen zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation	252
Tabelle 14-46: Pilotierung II - Deskriptive Statistik der Fragebögen zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation	253
Tabelle 14-47: Pilotierung I - Ergebnisse der Korrelation der Bewertungsaspekte mit den residualen Lernzuwächsen.....	253
Tabelle 14-48: Pilotierung II - Ergebnisse der Korrelation der Bewertungsaspekte mit den residualen Lernzuwächsen.....	253
Tabelle 14-49: Prozentuale Häufigkeiten zur Anwendung der Fortbildungsinhalte....	254
Tabelle 14-50: Prozentuale Häufigkeiten zum Einsatz der Beispieleexperimente	254

13 Formelverzeichnis

Formel 4-1: Born-Landé-Gleichung.....	98
Formel 4-2: Berechnung der Hydratationsenthalpie	99
Formel 4-3: Berechnung der Lösungsenthalpie.....	100
Formel 4-4: Coulomb'sches Gesetz	100
Formel 4-5: Gitterenergie für den Gleichgewichtszustand der einwirkenden Kräfte ..	101
Formel 4-6: Formel der Äquivalenzleitfähigkeit.....	101
Formel 4-7: Modifizierte Formel der Äquivalenzleitfähigkeit.....	102
Formel 4-8: Formel der Dichte.....	104

14 Anhang mit allen Materialien

14.1 Inhalte der Lehrkräftefortbildung

14.1.1 Präsentationsfolien der Hauptstudie


Universität Regensburg

Praxisnahe und kompetenzorientierte Konzeption von selbstgesteuerten Experimenten im Chemieunterricht
 IHR'S FHERL & Prof. Dr. Oliver Toppert
 INSTITUT FÜR CHEMIE UND PHARMAZIE – USAM IN DER CHEMIE


Universität Regensburg

Agenda

- Was ist selbstgesteuertes Exper/mentieren?
- Beispielexperimente zum selbstgesteuerten Experimentieren
- Strukturierungskonzept zur Planung von selbstgesteuerten Experimenten
- Modifizierung eines Kochbuchrezepts zu einem selbstgesteuerten Experiment
- Schulung der Reflektionskompetenz bezüglich der Planung selbstgesteuerter Experimente


Universität Regensburg

Materialien der Fortbildung

→ Alle vorgestellten Materialien sowie Theoriefolien digital unter...

 Adresse	 https://www.uni-regensburg.de/chemie-pharmazie/didaktik-chemie/lehre/fortbildungen/index.html
 Passwort	Chemiedidaktik


Universität Regensburg

Aufgabe – Ziele und Facetten des Experimentierens

Aufgabe

Warum setzen Sie Experimente in Ihrem Unterricht ein?
 – Überlegen Sie sich bitte **2 Gründe**.
 – Nehmen Sie anonym mit einem Pseudonym per „Poll Everywhere“ teil.
 – Scannen Sie bitte dazu den QR-Code oder geben Sie die Internetadresse in Ihren Browser ein.



<https://pollux.com/larsehler470>



 3 min.

UR Universität Regensburg

Aufgabe – Ziele und Facetten des Experimentierens

Warum setzen Sie Experimente in Ihrem Unterricht ein?

Leeres Feld für Notizen

UR Universität Regensburg

Ziele und Facetten des Experimentierens

nach Holsen, 1996
 nach Weibel et al., 1998; Hofstein & Lunetta, 2000; Kircher et al., 2007

learning science	Motivation /Interesse	Soziale Kompetenz	Wissenschaftliche Konzepte
doing science	Anwendung im Alltag	Exp. Fertigkeiten	Wissenschaftliche Argumentation
learning about science			Nature of Science

UR Universität Regensburg

Wandel des Experimenteinsatzes

Experiment als zentrales Element im naturwissenschaftlichen Unterricht (Jäger et al., 2001; Weibel et al., 2004)

Wandel als Indikator für andere Schülerelemente (Holsen, 1996; Weibel et al., 2004)

PISA 2015 zeigt geringe Schülerzentrierung beim Experimentieren (Sawyer & Heston et al., 2008)

- Erkenntnisgewinnung als Bildungsziel (oxalza in den Bildungsstandards vom 2002; Lehrplan Plus -> Lernbereich 1: Wie Chemiker denken und arbeiten (19, 2018))
- Defizite in allen Bereichen der Erkenntnisgewinnung (Matusch & Lorenz, 2005; Heston et al., 2008)

→ Realisierung mit Hilfe des selbstgesteuerten Experimentierens möglich

UR Universität Regensburg

Wandel des Experimenteinsatzes – Bildungsstandards

Erkenntnisgewinnung

Die SuS ...

- E.1** erkennen und entwickeln Fragestellungen, die mit Hilfe experimenteller Konzepte und Lernhilfen beantwortet werden können, durch Formulierung von Hypothesen, so beantwortbar sind.
- E.2** planen gezielte Untersuchungen zur Überprüfung von Vermutungen und Hypothesen.
- E.3** führen qualitative und einfache quantitative experimentelle und andere Untersuchungen durch und protokollieren diese.
- E.4** erheben und untersuchen, interpretieren experimentelle Konzepte, selbstständig Daten überrechnen etc.
- E.5** finden in Labor oder nach recherchierten Daten, Trends, Strukturen und Beziehungen, erklären diese und ziehen geeignete Schlüssefolgerungen.

UR Universität Regensburg

Wandel des Experimenteinsatzes – Lehrplan

Wie Chemiker:innen denken und arbeiten

Lehrpläne

Die Sub ...

- entwickeln ...
- ... eigenständig

C 9.1

- ... dokumentieren und präsentieren
- ... selbständig

Chemikerkommunikation

Die SuS ...

- ... selbst geplanten
- ... die Dokumentation, Auswertung und
- ... selbständig und
- ... Fragenstellungen ab ...

UR Universität Regensburg

Empirische Befunde – Selbstreguliertes Experimentieren

- Meta-Studien zeigen positiven Effekt auf das Lernen (Klimek et al., 2018; Utsch et al., 2017)
- Positiver Zuwachs bei ...
 - Lernergebnissen (Berg et al., 2010)
 - Fachwissen (Brenschel et al., 2020; Rommel et al., 2016)
 - prozeduralen Wissen (Göbel & Dier, 2009; Borchardt et al., 2010)
 - experimentellen Fertigkeiten (Bortner et al., 2014)
 - Nature of Science (Bainbridge et al., 2020)
- Fördert ...
 - Formulieren von naturwissenschaftlichen Fragestellungen und das Bilden von Hypothesen (Kates, 2008 & Kiers, 2004)
 - Zufriedenheit beim Experimentieren (Koch & Zur, 2022)
 - metakognitive Fähigkeiten (Koch & Jochims, 2008)

UR Universität Regensburg

Aufgabe – Selbstgesteuertes Experimentieren

Aufgabe

Was ist für Sie ein selbstgesteuertes Experiment?

- Überlegen Sie sich bitte **2 Kriterien**.
- Nehmen Sie anonym mit einem Pseudonym per „Poll Everywhere“ teil
- Scannen Sie bitte dazu den QR-Code oder geben Sie die Internetadresse in Ihren Browser ein.



<https://polllev.com/ansieht470>

  3 min.

UR Universität Regensburg

Aufgabe – Selbstgesteuertes Experimentieren

Was ist für Sie ein selbstgesteuertes Experiment?

Leeres Feld für Notizen

UR Universität Regensburg
Kennzeichen des selbstgesteuerten Lernens
Lernpsychologie

Lernformen, bei denen der Handelnde die wesentlichen Entscheidungen ob, was, wann, wie und woraufhin er lernt, grasetend und folgenreich beeinflussen kann.
(Hamer, 1982)

UR Universität Regensburg
Kennzeichen des selbstgesteuerten Lernens
Lernpsychologie

UR Universität Regensburg
Kennzeichen des selbstgesteuerten Experimentierens
Fachdidaktik

→ Keine allgemein akzeptierte Definition!
 → Aber Aufteilung in zwei Dimensionen in der Literatur erkennbar!

Aktivitäten der SuS beim Experimentieren

Grad der Lehrerzentrierung in den Experimentierphasen

UR Universität Regensburg
Kennzeichen des selbstgesteuerten Experimentierens
Experimentierphasen

Grad der abgerufenen SuS-Selbstständigkeit beim Experimentieren		Experimentierphasen			
Grad	Fragestellung/Hypothese	Planung	Durchführung	Auswertung	Interpretation
0	Lehrkraft	Lehrkraft	Lehrkraft	Lehrkraft	Lehrkraft
1	Lehrkraft	Lehrkraft/SuS	SuS	SuS	Lehrkraft/SuS
2	Lehrkraft	Lehrkraft/SuS	SuS	SuS	Lehrkraft/SuS
3	Lehrkraft/SuS	Lehrkraft/SuS	SuS	SuS	SuS
4	SuS	SuS	SuS	SuS	SuS

UR Universität Regensburg
Kennzeichen des selbstgesteuerten Experimentierens

Fachdidaktik

→ Keine allgemein akzeptierte Definition!
 → Aber Aufteilung in zwei Dimensionen in der Literatur erkennbar

Aktivitäten der SuS beim Experimentieren

Grad der Lehrverzentrierung in den Experimentierphasen

UR Universität Regensburg
Kennzeichen des selbstgesteuerten Experimentierens

Experimentieraktivitäten

Problem definieren
 Fragen entwickeln
 Hypothesen generieren

Beziehungen in Daten finden
 Schlussfolgerungen ziehen
 Daten sammeln und organisieren

Experimente planen und durchführen
 Ressourcen identifizieren
 Lernhaltung organisieren

Reflektieren
 Ergebnisse diskutieren und teilen

UR Universität Regensburg
Funktionen des Experiments

Umgang mit Material schulen
 Anatomie Weiser

Hypothese generieren
 Durch Analogien die Vorstellungen veranschaulichen

Zusammenhänge zu Anwendungen herstellen
 Hypothese testen

Ausgangspunkt
 - Offene Ausgangspunktion

Phänomene erkunden
 - Suche nach zusammenhängenden Experimenten

Ergebnis
 - Quantifizierung über die zu Grunde gelegte Hypothese

Frieden von Hypothesen
 - Theorie unabhängig
 - Erklärungen für das Beobachtete werden geliefert

Experiment

UR Universität Regensburg
Funktionen des Experiments

Hypothesen testen

Ausgangspunkt
 - akzeptierte Hypothesen

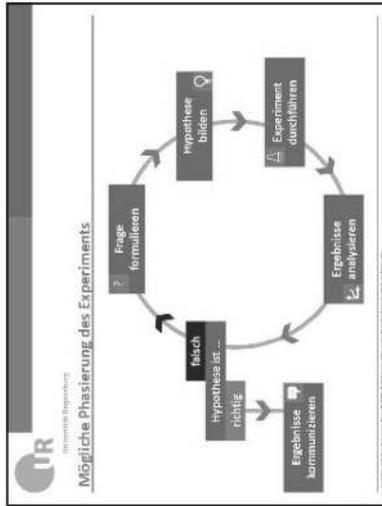
Ergebnis
 - Quantifizierung über die zu Grunde gelegte Hypothese

Hypothesen generieren

Ausgangspunkt
 - Offene Ausgangspunktion

Phänomene erkunden
 - Suche nach zusammenhängenden Experimenten

Ergebnis
 - Hypothese generieren



UR Universität Regensburg

Mögliche Phasierung des Experiments

Sach- frage (Frage)	Sache im Hypothesenraum	Testen von Hypothesen	Analyse von Meßdaten
Was ist die Hypothesenformulierung?	Hypothesenformulierung	Experimenteller	Kollektive Auswertung
Was ist die Hypothesebildung?	Hypothese bilden	Das ist alles?	Schlusfolgerung
Was ist die Hypothesenprüfung?	Hypothesenprüfung	Dabei bereits aufgefallen	Schlusfolgerung
Was ist die Hypothesenüberprüfung?	Hypothesenüberprüfung	Untersuchung planen und durchführen	Argumente
Was ist die Hypothesenüberprüfung?	Hypothesenüberprüfung	Ergebnisse auswerten	Daten auswerten
Was ist die Hypothesenüberprüfung?	Hypothesenüberprüfung	Planung	Durchführung
Was ist die Hypothesenüberprüfung?	Hypothesenüberprüfung	Durchführung	Datenauswertung

UR Universität Regensburg

Beispielexperimente

Inhalt

- Dem unlichtbaren Gas auf der Spur
 - ✓ Welches Gas entsteht bei dem Auflösen einer Brausetablette?
 - RS C.8.2.1
 - GV C.8.2.1a
 - Stoffe und ihre Eigenschaften
- Welche Salze eignen sich für den Einsatz in den Coolpacks?
 - ✓ Kann mit Hilfe von Indikatoren ein Coolpack gebaut werden?
 - RS C.9.2.1
 - GV C.9.2.1a
 - Donator-Akzeptor-Konzept bei Elektronenübergängen
 - Wechselwirkungskonzept

UR Universität Regensburg

Beispielexperimente

Inhalt

- Faszination der Salze
 - ✓ Ein Koffler – Vier Experimente zu dem Thionitrogen der Salze
 - RS C.8.2.1
 - GV C.8.2.1a
 - Aufbau der Materie
 - Chemische Verbindungen und ihre Eigenschaften
- Die bunten Jelly Beilys
 - ✓ Welche Farbstoffe sind in dem Jelly Beilys enthalten?
 - RS C.9.2.1
 - GV C.10.2.1a
 - Donator-Akzeptor-Konzept bei Protonenübergängen
 - Donator-Akzeptor-Konzept bei Protonenübergängen

UR Universität Regensburg
Innovative Experimente

Experiment – Mehrschichtiger Cocktail

Experiment:

Fragestellung
Können mehrere Phasen mit Schichtlösungen erzeugt werden?

UR Universität Regensburg
Innovative Experimente

Strukturierungskonzept

Experiment ← abhängig von... → **Schulische Rahmenbedingungen**

UR Universität Regensburg
Innovative Experimente

Schulische Rahmenbedingungen

Inhalt

- ✓ **Digitale Merkmale**
 - Ausstattung der Schule mit Ressourcen (personelle und materielle Ressourcen)
 - Entscheidungsprozesse der Schulen, insbesondere bei der Ressourcenverwendung
 - Praktiken der Leistungsbeurteilung
 - Maßnahmen der Qualitätssicherung
 - Schulklima (Normen, Werte und soziale Regeln)
 - Maßnahmen zur Förderung von SIS mit Migrationshintergrund
- ✓ **Proximale Merkmale**
 - Zeitliche Gegebenheiten des Unterrichts
 - Klassengröße
 - Sprache

✓ **Lehrplan/Schulform/Bildungsgang**
✓ **Kulturelle Rahmenbedingung**

UR Universität Regensburg
Innovative Experimente

Schulische Rahmenbedingungen

Lehrplan/JS

- ✓ **Eigenschaften von Salzen**
 - KS C.8.3₁ Aufbau der Materie**
 - Eigenschaften von Metallen, molekular aufgebauten Stoffen und Salzen z. B. Verformbarkeit, Sprödigkeit, Härte, Dichte, Schmelz- und Siedetemperatur ...
 - GT C.8.4_{1/2/3} Chemische Verbindungen und ihre Eigenschaften**
 - Eigenschaften von Salzen: Kristallinität, Sprödigkeit, elektrische Leitfähigkeit von Schmelzen und Lösungen ...

UR Universität Regensburg
Sicherheit

Inhalt

- ✓ **Sicheres und sicheres Arbeiten im Labor**
 – Verhalten im Chemielabor
 – Sicheres Arbeiten mit Laborgeräten und Chemikalien
 – Entsorgung
- ✓ **Tätigkeitsbeschränkungen für Chemikalien**
 Informationen unter <https://deqintu.de/aktivitaeten> → Stoffliste „Unsermicht in Schulen mit gefährlichen Stoffen“

UR Universität Regensburg
Sicherheit

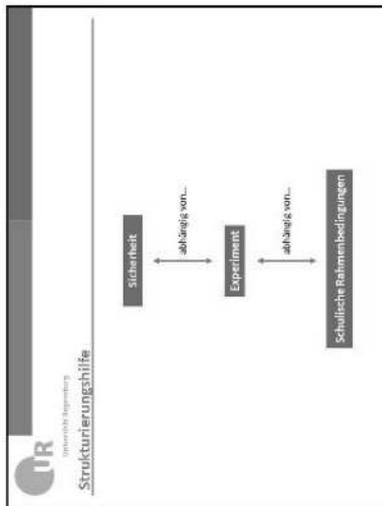
Arbeiten mit DEGINTU

- ✓ Erklärt alle wichtigen Funktionen von DEGINTU
- ✓ Kleinschrittig und bildlert
- ✓ Inhaltsverzeichnis verlinkt mit den jeweiligen Kapiteln

Arbeiten mit DEGINTU

- ✓ Inhalt
- ✓ Systemanforderung
- ✓ Quellcode heruntergeladen
- ✓ Betriebssystem
- ✓ Verlinkt mit dem mit dem aktuellen DEGINTU-Handbuch

DEGINTU ist ein Produkt der Universität Regensburg



UR Universität Regensburg
Sicherheit

Arbeiten mit DEGINTU

- ✓ Erklärt alle wichtigen Funktionen von DEGINTU
- ✓ Kleinschrittig und bildlert
- ✓ Inhaltsverzeichnis verlinkt mit den jeweiligen Kapiteln

Arbeiten mit DEGINTU

Arbeiten mit DEGINTU
 Ein interaktives Lernsystem für den Unterricht der Gesellschaften
 und der Naturwissenschaften

Aktion für Lehrkräfte

DEGINTU ist ein Produkt der Universität Regensburg

UR Universität Regensburg
Sicherheit

Arbeiten mit DEGINTU

- ✓ Erklärt alle wichtigen Funktionen von DEGINTU
- ✓ Kleinschritt und bebildert
- ✓ Inhaltsverzeichnis verlinkt mit dem jeweiligen Kapitel

UR Universität Regensburg
Cheminformationsverarbeitung

1. Besondere Seite bearbeiten

UR Universität Regensburg
Sicherheit

Arbeiten mit DEGINTU

- ✓ Erklärt alle wichtigen Funktionen von DEGINTU
- ✓ Kleinschritt und bebildert
- ✓ Inhaltsverzeichnis verlinkt mit dem jeweiligen Kapitel

UR Universität Regensburg
Virtueller Lehrstuhl für Integrierte Bildungsausbildung

8. Versuch mit nachfolgender Beschreibung zusammen fassen

UR Universität Regensburg
Sicherheit

Strukturierungskonzept – 1. Auswahl des Fachinhalts

Übergeordnete Entscheidung

- 1. Auswahl des Fachinhalts (U) und der Kompetenzangabe
- Fachinhalte genau vorgegeben
- Auswahl aus mehreren vorgegebenen Fachinhalten
- freie Auswahl des Fachinhalts

Zielstruktur des Experiments sowie Abzug/Verzicht des unterrichtsgegenstands

UR Universität Regensburg
Mehrfach-Auswahl möglich

UR Universität Regensburg
Sicherheit

Strukturierungskonzept – 1. Auswahl des Fachinhalts

Übergeordnete Entscheidung

- 1. Auswahl des Fachinhalts (U) und der Kompetenzangabe
- Fachinhalte genau vorgegeben
- Auswahl aus mehreren vorgegebenen Fachinhalten
- freie Auswahl des Fachinhalts

Zielstruktur des Experiments sowie Abzug/Verzicht des unterrichtsgegenstands

UR Universität Regensburg
Mehrfach-Auswahl möglich

UR Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – 1. Auswahl des Fachinhalts

Handlungspositionen

Fachinhalt:

- ✓ Fachinhalt genau vorgegeben
- ✓ Auswahl aus mehreren vorgegebenen Fachinhalten
Mehrere Stationen zur Auswahl
– Pflicht- und Wahlstationen
- ✓ Freie Auswahl des Fachinhalts
– Projektarbeit

UR Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – Beispiel

Möglichkeit zur Öffnung des Fachinhalts

Was steckt in meinem Spagatstank?

✓ Stationsarbeit

- Vorgegebenes Thema
- Vorgegebene Stationen
- Freie Auswahl bzgl. der zu bearbeitenden Stationen

✓ Projektarbeit

- Vorgegebenes Thema
- Freie Auswahl bzgl. der selbst geplanten Experimente

Übliche Ionen
Nachweisart
Mittl. / Reagenzien

Ca²⁺
Ionen
Nachweisart
Mittl. / Reagenzien

UR Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – 2. Strategische Überlegungen

Übergeordnete Entscheidung

1. Strategische Überlegungen zur experimentellen Vorgabeformulierung (S. 24)

2. Strategische Überlegungen zur experimentellen Vorgabeformulierung (S. 24)

Strategie genau vorgegeben

Strategie vorklassifiziert

geringe oder keine Vorgaben

Übertragung zur Strategie

Strategie genau vorgegeben

Strategie vorklassifiziert

geringe oder keine Vorgaben

UR Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – 2. Strategische Überlegungen

Inhalt

→ **Übergeordnete Entscheidung zu den Schritten einer möglichen experimentellen Vorgehensweise treffen:**

- vorgegeben
- vorklassifiziert
- mit keinen oder geringen Vorgaben verbunden

→ Einige Schritte des Experiments können je nach Unterrichtsplanung ersetzt, verändert oder ausgelassen werden.

Beispiele

1. Experiment
Vorgehen
Geräte
Reagenzien

2. Experiment
Vorgehen
Geräte
Reagenzien

3. Experiment
Vorgehen
Geräte
Reagenzien

4. Experiment
Vorgehen
Geräte
Reagenzien

5. Experiment
Vorgehen
Geräte
Reagenzien

UR Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – 3. Methodische Umsetzung der Strategie

Handlungsoptionen

Versuchsdesign – Versuchs Schritte

Vorgeben

Flussdiagramme

Puzzel mit den einzelnen Schritten

Auswahlliste mit einzelnen Schritten

Keine Vorgaben

UR Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – Beispiel

Versuchsschritte

1. Versuchsaufbau
2. Messung
3. Auswertung
4. Diskussion
5. Zusammenfassung

UR Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – Beispiel

Versuchsschritte

Aufgabe
Bereite die folgenden Schritte einer experimentellen Untersuchung in einer Online-Umgebung auf. Nutze die folgenden Materialien.

Erstelle mit Lerningpsong

kostenloser Online-Editor

Elemente sind verschiebbar

Ergebniskontrolle

UR Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – 3. Methodische Umsetzung der Strategie

Handlungsoptionen

Versuchsdesign – Variablenkontrolle

Vorgeben

Auswahlliste mit konstanten und zu manipulierenden Variablen

Hinweis auf Variablenkontrolle

Keine Hinweise

UR Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – Beispiel

Variablenkontrolle

Aufgabe	Variablen
<ul style="list-style-type: none"> Wähle die Variablen aus, die konstant gehalten oder verändert werden sollen. Schreibe die Variablen in das entsprechende Feld. 	Konzentration Volumen konstant
	Elektrolyt Elektrode Elektrodendicke Temperatur veränderbar

UR Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – 3. Methodische Umsetzung der Strategie

Handlungsoptionen

Versuchsdesign – Versuchsaufbau

Vorgabe

Teilweise vorkonzipierte Zeichnung

Auswahlmöglichkeiten, z.B. handschriftlich oder Chemix

Keine oder geringe Vorgaben

UR Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – Beispiel

Chemix ist ein kostenloser Online-Kurzkurs zum Aufbau von Laboraufbauten.

Auch für Tablets und Handys geeignet.

<https://chemix.org>

UR Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – Beispiel

Skizze als PDF-Daten speichern

Leiter für die 100-1000-gamma-Auswahl

Auswählen
Vorverschieben
Pfeile
Drehen
Löschen
Ergebnis

Rechte
Leiste
– Blaudruckstand
Farbe

UR
Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – 3. Methodische Umsetzung der Strategie

Handlungsoptionen

Vorstudiedesign – Laborbedarf

Vorgegeben

Vorsteltlicher Pool

Vorsteltlicher Pool mit nicht zellföhrenden Labormaterialien/Chemikalien

Freie Auswahl der vorhandenen Labormaterialien im Chemielaborraum

UR
Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – Beispiel

Laborbedarf

Milde oder nicht?
 Microscale - Titration von verschiedenen Apfelsäften

Auswahl ist für das Experiment zielföhrend.

UR
Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – Beispiel

Laborbedarf

Milde oder nicht?
 Microscale - Titration von verschiedenen Apfelsäften

Beinhaltet auch nicht zellföhrende Materialien.

UR
Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – 3. Methodische Umsetzung der Strategie

Handlungsoptionen

Beobachtungen

Vorgegeben

Vorsteltzerte Tabelle

Auswahlmöglichkeiten, z.B. Slier-Fotos, Interaktives Foto oder Video

Geringe oder keine Vorgaben

UR Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – Beispiel

Slidert Foto

Vorher

Slider ermöglicht ein Vorher-Nachher-Vergleich

Nachher

UR Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – Beispiel

Interaktives Video

Ampulle beinhaltet Wasser und einige Tropfen Phenolphthalein

UR Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – 3. Methodische Umsetzung der Strategie

Handlungsoptionen

Auswertung

- Vorgegeben
- Interaktive Auswertungskarte
- Hinweise zum Prinzip der Auswertung
- Hinweise zur Interpretation oder Reflexion
- Auswahl der Präsentationsform, z.B. Kurzpräsentation, Mäxak oder Video
- Geringe oder keine Vorgaben

UR Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – Beispiel

Interaktive Auswertungskarte

Aufgabe

- Verwendung als Hilfestellung für eure Auswertung des interaktiven Bild.
- Scann dazu den QR-Code mit eurem Handy oder Tablet.
- Falls ihr eine Frage oder Lösungsweg einbringen wollt dann klickt einfach auf das Frage-Symbol.

UR Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – Beispiel

Infos zu Programmen

Art	Features	Kosten	Angebot
genially	Online Editor Registrierung erforderlich	kostenlos Beispielsätze	URL ohne Registrierung regionaler Train and E- Mail oder Social-Media
Video-Shop	Handy-App Webots	keine Beispielsätze	
juvopos e.kingd ab.com	Online Editor Keine Registrierung erforderlich	keine Doppel- Account erforderlich	

UR Universität Regensburg

Strukturierungskonzept – 3. Methodische Umsetzung der Strategie

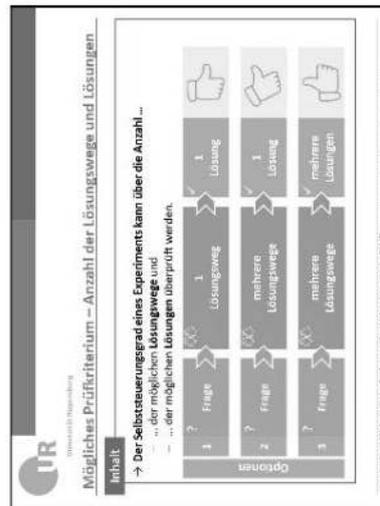
Handlungsoptionen

Socialform² und Lemmaterialien³

Vorgabegeben

Freie Auswahl beschränkt auf bestimmte Phasen des Experiments:

Keine Vorgaben



UR Universität Regensburg
Strukturierungskonzept – Beispiel

Infos zu Programmen

Art	Features	Kosten	Angabe
genially	Online Editor Registrierung erforderlich	keines Beispielen	URL ohne Registrierung möglich Team und E- Mail oder Social Media
Video shop	Handy-App Webos	keine Beispielen	
juvopos e.kingd ab.com	Online Editor Keine Registrierung erforderlich	keines Doppel- Account notwendig	

UR Universität Regensburg
Strukturierungskonzept – 3. Methodische Umsetzung der Strategie

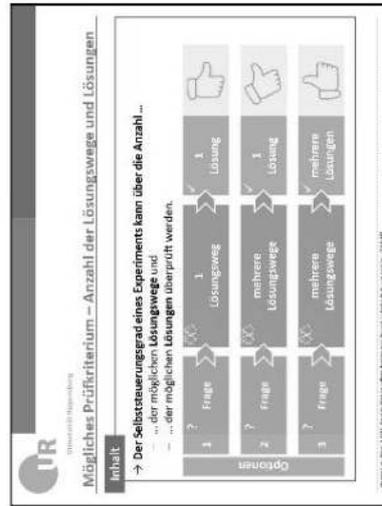
Handlungsoptionen

Socialform² und Lemmaterialien³

Vorgabe

Freie Auswahl beschränkt auf bestimmte Phasen des Experiments:

Keine Vorgaben



UR Universität Regensburg

Unterstützungsmaßnahmen – Feedback

Knowledge of performance
Knowledge of result
Knowledge of correct result
Elaborated feedback

Feedback (Hertz, 2006)

Summative Rückmeldung über erreichten Leistungsstand

Bei falscher Antwort erfolgt keine Vorgabe der Lösung.

Bei falscher Antwort erfolgt eine Vorgabe der Lösung.

Antwort richtig oder falsch

Antwort wird erläutert, warum falsch oder richtig

UR Universität Regensburg

Unterstützungsmaßnahmen – Feedback

Responsive Lehrintervention

Möglichkeit zur Rückfrage nach den einzelnen Experimentierphasen! Feedback erfolgt durch die Lehrkraft.

Nur zwei Rückfragemöglichkeiten pro Gruppe.

UR Universität Regensburg

Unterstützungsmaßnahmen

UR Universität Regensburg

Unterstützungsmaßnahmen – Hilfekarten

Selbständige Entscheidung über Zeitpunkt und Ausmaß der Nutzung (Dowser, 1994; Kopp, 2007)
→ Adaptive Instruktion (Jensen, 2004)

Verminderung des Ausstiegs aus Bearbeitungs- und Lernprozess (Kuhlmann & Auerhahn, 2011)

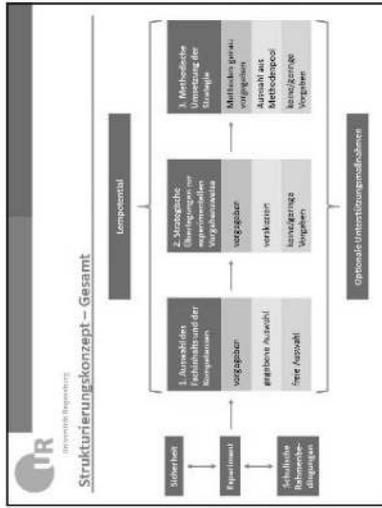
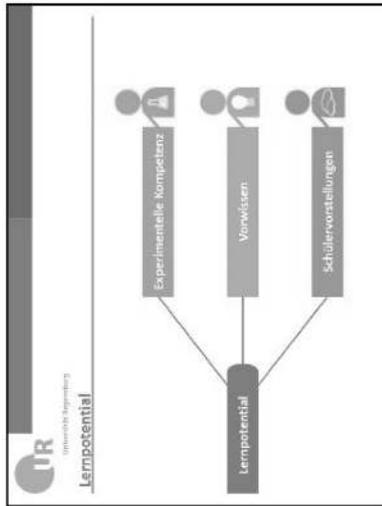
Verminderung von cognitive overload (Jensen, 1994; Kopp, 2007; 2009)

Selbständige Beschaffung von Lösungen (Kopp, 2007; Kuhlmann & Auerhahn, 2011)
→ Trennung von Lern- und Prüfungsphasen (Jensen, 2004)

Rückmeldungen über eigenen Lösungsweg (Kopp, 2007; Kuhlmann & Auerhahn, 2011)

Verminderung von Fehlvorstellungen (Jenk, 2001)

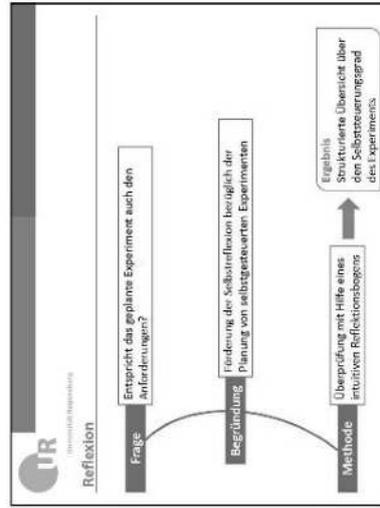
Empirie zu Hilfekarten



Aufgabe – Selbstgesteuertes Experiment

Aufgabe

- ✓ Modifizieren Sie bitte das gegebene koobuchrezeptartige Experiment in ein selbstgesteuertes Schülerexperiment.
- ✓ Skizzieren Sie bitte dazu ein Arbeitsblatt mit Arbeitsaufträgen und kommentieren Sie kurz die Aufgaben mit Ihren intendierten Zielen.
- ✓ Bitte berücksichtigen Sie dabei folgende Aspekte:
 - Lernziele, Kompetenzen und Funktionen des Experiments
 - Phasen des Experiments
 - Benötigte Chemikalien, Materialien und Laborggeräte
 - Unterstützungsmaßnahmen
 - Sozialform



UR Universität Regensburg

Reflexionsbogen

Inhalt und Aufgabe

→ Starke Anlehnung an das vorgestellte Strukturierungskonzept

Offenes des Experimentierprozesses

Welche Aspekte des Experimentierprozesses sind für Sie wichtig?

	offen	unvollständig	strukturiert	sehr strukturiert
Umsetzung in Kategorien des Strukturierungskonzepts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anwendung in der Ausbildung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Formulierung der Hypothese	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Planung der Versuchsschritte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Agende der Versuchsschritte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bitte mit den wichtigsten Punkten einer Kategorie

Offenpunkte zum Ankreuzen

UR Universität Regensburg

Aufgabe – Reflexion

Aufgabe

- ✓ Reflektieren Sie bitte Ihr entworfenes selbstgesteuertes Experiment mit Hilfe des vorgestellten Reflexionsbogens.
- ✓ Füllen Sie bitte dafür möglichst alle Kategorien des Reflexionsbogens aus.
- ✓ Verschaffen Sie sich anschließend einen Überblick über den Selbststeuerungsgrad des Experiments anhand des Reflexionsbogens.

15 min.

UR Universität Regensburg

Evaluation

Bitte füllen Sie abschließend den Evaluationsbogen zur Fortbildung aus.

Vielen Dank für Ihre Mithilfe.

☹️ ☺️

UR Universität Regensburg

Fragen

- ✓ Gibt es noch Fragen?
- ✓ Kontakt für weitere Fortbildungen sowie Schülertage

Ilse Ebert
 Lehrstuhl für Chemie in Regensburg, der
 Universität Regensburg, Institut für
 Chemie, Universitätsstraße 31, 93053 Regensburg

Wir wünschen Ihnen eine gute Heimreise!

14.1.2 Arbeitsblätter und Materialien der Hauptstudie

Name: _____ Datum: _____
 Klasse: _____
 Thema: _____

Coolpacks



A. Information
 Dies ist sicherlich schon jedem Fußballer passiert. Bei einem Zweikampf trifft der Gegenspieler das Schienbein mit voller Wucht. Für den ersten Moment kann ein Coolpack für Abhilfe sorgen. Innerhalb weniger Sekunden ist das Coolpack einsetzbar und kann die betroffene Stelle kühlen.
 Ein Coolpack ist sehr einfach aufgebaut. Ein bestimmtes Salz und Wasser befinden sich voneinander getrennt in einer großen Umverpackung. Durch das Vermischen der beiden Substanzen kühlt das Coolpack ab.
 Welches Salz kühlt beim Auflösen in Wasser, die entstehende Wasser-Salz-Lösung so stark herab?
 – Natriumchlorid
 – Ammoniumchlorid
 – Calciumchlorid

B. Fragestellung
 Welches Salz eignet sich für den Einsatz in den Coolpacks?

C. Experiment Teil 1

Experimentieraufgabe

Überprüft mit einem selbst geplanten Experiment, welches Salz sich für den Einsatz in den Coolpacks eignet. Beachtet dabei folgende Aspekte:

- Für die Testung dürft ihr pro Salz max. 2 g verwenden.
- Denkt bei der Testung an die verschiedenen Variablen, damit die Ergebnisse vergleichbar sind.

Notizen für das Labornotebook

- a. Skizziert und beschriftet euren Versuchsaufbau.
- b. Notiert schriftlich eure Beobachtungen bei der Versuchsdurchführung.
- c. Zieht aus euren Beobachtungen eine Schlussfolgerung. Notiert diese in kurzen Sätzen.

Tipps

- Es dürfen dabei nur die gegebenen Labormaterialien und Chemikalien verwendet werden.
- Weitere Hilfestellung erhaltet ihr durch die interaktive Tippkarte.



Name: _____ Datum: _____
 Klasse: _____
 Thema: _____

D. Experiment Teil 2

Experimentieraufgabe

Entwickelt mit Hilfe der Ergebnisse aus dem Experiment Teil 1 eure eigenen Coolpacks.

- Nutzt für die Planung und den Bau den Infotext am Anfang des Arbeitsblatts.
- Testet euren Coolpack nach dem Bau.

Für schnelle Gruppen

- Verbessert euren Coolpack.
- Betrachtet die Temperaturveränderung bei der Testung eures verbesserten Coolpacks mit der Wärmebildkamera.

Notizen für das Labornotebook

- a. Zeichnet eine beschriftete Skizze eures Coolpacks.
- b. Konntet ihr euer gewünschtes Ergebnis erreichen? Begründet eure Antwort in kurzen Stichpunkten.

Tipps

- Es dürfen dabei nur die gegebenen Labormaterialien und Chemikalien verwendet werden.
- Weitere Hilfestellung erhaltet ihr durch die interaktive Tippkarte.



Entsorgung und Aufräumen

- Alle Lösungen können über den Abfluss entsorgt werden.
- Alle Laborgeräte bitte wieder gewaschen und sauber an die Station zurücklegen.

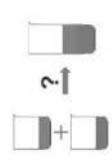


Name: _____ Klasse: _____ Datum: _____

Thema: **Mehrschichtiger Cocktail**

Mehrschichtiger Cocktail

A. Information
 Tim hat in seinem letzten Sommerurlaub einen bunten Cocktail gesehen. Der Cocktail bestand aus mehreren Schichten. Nun möchte Tim den mehrschichtigen Cocktail herstellen. Jedoch hat er nur Wasser und Kochsalz zur Verfügung. Können mehrere Schichten nur mit Salzlösungen erzeugt werden?



B. Fragestellung
 Können mehrere Schichten nur mit Salzlösungen erzeugt werden?

C. Hypothese

Kreuz eine Hypothese an, die ihr im Anschluss überprüfen wollt.

- Eine Hilfestellung erhält ihr durch die Tippkarten 1-3.

1 Wenn eine Salzlösung auf Wasser geschichtet wird, dann entstehen zwei Schichten.

2 Wenn eine Salzlösung mit einer niedrigen Dichte auf eine Salzlösung mit einer höheren Dichte geschichtet wird, dann entstehen zwei Schichten.

3 Wenn eine Salzlösung mit einer hohen Dichte auf eine Salzlösung mit einer niedrigeren Dichte geschichtet wird, dann entstehen zwei Schichten.

D. Experiment

Überprüft eure angekreuzte Hypothese mit Hilfe eines selbst geplanten Experiments.

- Vollzieht die Schritte des vorskizzierten Flussdiagramms und führt euer Experiment nach der Planung durch.
- Eine Hilfestellung erhält ihr durch die Tippkarten 4-6.

Notizen für das Laborjournal

- a. Notiert stichpunktartig eure Planungsschritte für euer Experiment in das entsprechende Feld des Flussdiagramms.
- b. Setzt die Ergebnisse eurer Experimente in Zusammenhang mit dem Konzept der Dichte. Notiert auch eure Schlussfolgerungen in kurzen Sätzen. Ihr dürft für die Auswertung auch auf die Informationen im Internet zugreifen.
- c. Stellt anschließend eure Schlussfolgerungen in kurzer Form im Plenum vor.

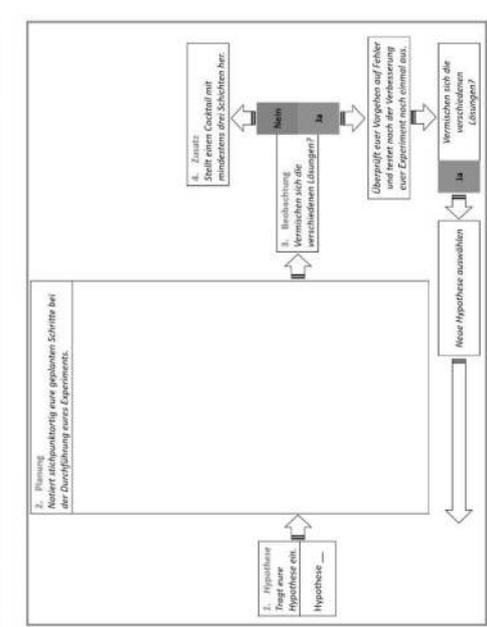
Bitte Umblättern | 1



Mehrschichtiger Cocktail

Tipps

- Es dürfen dabei nur die gegebenen Labormaterialien verwendet werden.
- Weitere Hilfestellung erhält ihr durch die Tippkarten.



Entsorgung und Aufräumen

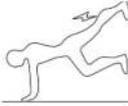
- Alle Lösungen werden über den Abfluss entsorgt.
- Alle Laborgeräte bitte wieder gewaschen und sauber an die Station zurücklegen.

| 2

Name: _____ Klasse: _____ Datum: _____
 Thema: _____

Was steckt in meinem Sportgetränk?

A. Information
 Durch das Schwitzen beim Sport verliert der Körper viel Flüssigkeit und Mineralstoffe. Um die Mineralstoffreserven im Körper wieder aufzufüllen, werden verschiedene Sportgetränke angeboten. Aber welche Ionen sind in den Sportgetränken enthalten?



B. Fragestellung
 Welche Ionen sind in dem Sportgetränk enthalten?

C. Versuch

Experimentieraufgabe

a. Führt zuerst die positive Blindprobe mit den vorhandenen Lösungen durch. Nutzt für die Ionenachweise die Infokarte.

b. Identifiziert nun die Ionen des Sportgetränks.

Notizen für das Laborjournal

a. Haltet eure Beobachtungen mit Hilfe von Sliderfotos (QR-Code scannen) oder tabellarisch fest.

b. Vergleicht eure Beobachtungen mit der Inhaltsstoffliste des Sportgetränks. Diskutiert mögliche Abweichungen zwischen euren Beobachtungen und der Inhaltsstoffliste des Sportgetränks.

c. Stellt anschließend eure Ergebnisse in kurzer Form im Plenum vor.

Tipps

- Es dürfen dabei nur die gegebenen Labormaterialien und Chemikalien verwendet werden.




Entsorgung und Aufräumen

- Alle Lösungen bitte in den Sammelbehälter am Platz geben.
- Alle Laborgeräte bitte wieder gewaschen und sauber an die Station zurücklegen.

Name: _____ Klasse: _____ Datum: _____
 Thema: _____

Leiten Salze den Strom?

A. Information
 Tim möchte seine neue Mini-Drohne zusammenbauen. Jedoch wurden nicht alle elektrischen Kabel mitgeliefert. Normalerweise werden Kupferkabel verwendet, da Kupfer als Metall eine gute elektrische Leitfähigkeit besitzt. Tim findet zuhause kein Kupfer mehr. Aber im Internet hat er mal gelesen, dass auch Salze den Strom leiten können. Stimmt das?



B. Fragestellung
 Können Salze den Strom leiten?

C. Experiment

Stellt zu der gegebenen Fragestellung eine oder mehrere Hypothese(n) auf.

- Nutzt für die Bildung eurer Hypothese(n) euer Wissen zu dem Aufbau der Salze.
- Eine Hilfestellung erhaltet ihr durch die Tipps 1.2.

Experimentieraufgabe

Überprüft eure Hypothese(n) mit Hilfe eines selbst geplanten Experiments.

- Wendet für die Überprüfung eurer Hypothese(n) das Salz Kaliumnitrat...
- Eine Hilfestellung erhaltet ihr durch die Tipps 3.4.

Notizen für das Laborjournal

a. Zeichnet eure Versuchsaufbauten mit Chemix (QR-Code scannen) oder handschriftlich in euer Laborjournal.

b. Notiert stichpunktartig eure Beobachtungen.

c. Stellt anschließend eure Ergebnisse in kurzer Form im Plenum vor.

Tipps

- Es dürfen dabei nur die gegebenen Labormaterialien verwendet werden.
- Weitere Hilfestellung erhaltet ihr durch die interaktive Tippliste.




Entsorgung und Aufräumen

- Alle Lösungen werden über den Abfluss entsorgt.
- Alle Laborgeräte bitte wieder gewaschen und sauber an die Station zurücklegen.

Was steckt in meinem Sportgetränk



Infokarte

Ionen	Nachweismethode	
Magnesium-Ionen	Magnesium-Ionen lassen sich mit einer Thiazolgelb-Lösung nachweisen. Es bildet sich ein roter Niederschlag.	
Eisen-Ionen	Eisen(II)-Ionen können mit einer roten Blutlaugensalz-Lösung nachgewiesen werden. Es entsteht ein tiefblauer Niederschlag.	
Calcium-Ionen	Calcium-Ionen bilden zusammen mit den Oxalat-Ionen einen weißen, kristallinen Niederschlag.	

Bitte Umblättern | 1

Was steckt in meinem Sportgetränk



Ionen	Nachweismethode	
Chlorid-Ionen	Chlorid-Ionen können mit einer Silbernitrat-Lösung nachgewiesen werden. Es entsteht ein weißer, käsiger Niederschlag, der sich nach Zugabe von Salpetersäure-Lösung nicht auflöst.	
Sulfat-Ionen	Sulfat-Ionen können mit einer Bariumchlorid-Lösung nachgewiesen werden. Es entsteht ein weißer Niederschlag, der sich nach Zugabe von Salzsäure-Lösung nicht auflöst.	

| 2

Name: _____ Klasse: _____ Datum: _____
 Thema: _____

Dem unsichtbaren Gas auf der Spur

A. Information

Nach einer anstrengenden Sporteinheit wollt ihr euren Elektrolythaushalt mit einer Tablette mit Magnesium-Ionen wieder aufbessern. Als ihr die Brausetablette in einem Glas mit Leitungswasser auflöst, könnt ihr eine Gasentwicklung beobachten. Doch welches Gas entsteht dabei? Ein Blick auf die Liste der Inhaltsstoffe der Tablette kann einen Aufschluss über das entstehende Gas geben.

Inhaltsstoffe einer Magnesiumtablette

- Citronensäure
- Magnesiumcarbonat
- Natriumhydrogencarbonat
- Natriumcyclamat
- Natriumsaccharin
- Vitamin C und E
- Aroma
- Riboflavin



B. Fragestellung

Welches Gas entsteht bei dem Auflösen einer Brausetablette?

C. Experiment

Hypothese

Stellt zuerst schriftlich eine Hypothese zu der obigen Fragestellung auf. Hilfestellung erhaltet ihr durch die Tippliste 1-2.

Experimentieraufgabe

Überlegt euch ein Experiment, mit dessen Hilfe die Hypothese überprüft werden kann und führt euer Experiment anschließend durch.

- Weitere Hilfestellung erhaltet ihr durch die Tipplisten 3-4.

Für schnelle Gruppen

- Testet, welches Gasvolumen bei dem Auflösen der Tablette in Wasser entsteht.

Notizen für das Laborjournal

- a. Skizziert und beschriftet euren Versuchsaufbau.
- b. Notiert stichpunktartig bei der Durchführung eure Beobachtungen.
- c. Welche Schlussfolgerungen lassen sich aus der Überprüfung eurer Hypothese ziehen? Notiert diese in kurzen Sätzen.
- d. Formuliert für eure positive Nachweisreaktion eine Wortgleichung. Hilfestellung erhaltet ihr durch die Tippliste 5-6.

Name: _____ Klasse: _____ Datum: _____
 Thema: _____

Die Farben der Flamme

A. Information

Zum Abschluss einer Dult wird oftmals ein farbenfrohes Feuerwerk gezündet. Dann wirbelt, tanzt und pfeift es wieder am hell erleuchteten Nachthimmel. Viele haben ihren Spaß an diesem farbenfrohen Spektakel. Die farbigen Effekte werden dabei durch verschiedene Salze erzeugt.

B. Fragestellung

Welche Salze erzeugen die bunten Effekte in den Feuerwerksraketen?

C. Versuch

Experimentieraufgabe

a. Führt die Flammenfärbung mit folgender Anleitung und den gegebenen Salzlösungen durch. Die Durchführung des Experiments könnt ihr euch auch im Video (QR-Code scannen) anschauen.

- Glüht das Magnesiastäbchen im Brenner aus.
- Taucht das Magnesiastäbchen in die Probe-Salzlösung und haltet es in die Brennerflamme. Glüht anschließend das Magnesiastäbchen wieder aus.
- b. Findet mit einem selbst geplanten Experiment heraus, ob die Anionen oder die Kationen für die Flammenfärbung verantwortlich sind.

Notizen für das Laborjournal

- a. Haltet eure Beobachtungen schriftlich oder mit beschrifteten Handyfotos fest.
- b. Diskutiert das Ergebnis der Experimentieraufgabe b. in eurer Gruppe. Erklärt zudem, wie die Flammenfärbung zustande kommt.
- c. Stellt anschließend eure Ergebnisse in kurzer Form im Plenum oder in einem Erklärvideo vor.

Tipps

- Es dürfen dabei nur die gegebenen Labormaterialien und Chemikalien verwendet werden.

Entsorgung und Aufräumen

- Alle Lösungen bitte in den Sammelbehälter am Platz geben.
- Alle Laborgeräte bitte wieder gewaschen und sauber an die Station zurücklegen.

Dem unsichtbaren Gas auf der Spur

Tipps

- Es dürfen dabei nur die gegebenen Labormaterialien und Chemikalien verwendet werden.
- Weitere Hilfestellung erhaltet ihr durch die **Tipplisten**.

Entsorgung und Aufräumen

- Alle Lösungen werden über den Abfluss entsorgt.
- Alle Laborgeräte bitte wieder gewaschen und sauber an die Station zurücklegen.

Dem unsichtbaren Gas auf der Spur

Tippliste

Hypothese

→ Überlegt euch, welche Gase ihr aus dem bisherigen Unterricht kennt.

Tippliste

→ Folgende Gase könnten entstehen:

- Sauerstoff
- Kohlenstoffdioxid
- Wasserstoff
- Wasserdampf

<p>Tippliste - Sauerstoff</p> <p>Sauerstoff kann mit Hilfe der Glimmspanprobe nachgewiesen werden.</p>	<p>Tippliste - Sauerstoff</p>
<p>Tippliste - Wasserstoff</p> <p>Wasserstoff kann mit Hilfe der Knallgasprobe nachgewiesen werden.</p>	<p>Tippliste - Wasserstoff</p>

Name: _____ Klasse: _____ Datum: _____
 Thema: _____

Die bunten Jelly Bellys

A. Information
 Jeder liebt sie. Die vielen bunten Süßigkeiten in allen ihren Geschmacks- und Farbvarianten. Doch welche Inhaltsstoffe sorgen für diese bunten Farben? Viele künstliche Farbstoffe, wie z.B. die Azofarbstoffe, sind mittlerweile in Verfall geraten, da sie den menschlichen Organismus schädigen können. Die Azofarbstoffe sind mittlerweile größtenteils durch natürliche Farbstoffe, wie z.B. β -Carotin, welches unter anderem in der Karotte vorkommt, ersetzt worden. Aber ein Blick auf die Süßigkeitenverpackungen hilft im ersten Moment meist auch nicht weiter. Dort sind oftmals nur E-Nummern aufgelistet. Mit dieser Versuchsreihe wollen wir mit Hilfe einfacher Analysemethoden verschiedene natürliche Farbstoffe in Jelly Bellys nachweisen.



B. Fragestellung
 Welche Farbstoffe enthalten die verschiedenen Jelly Bellys?

C. Experiment

<p>1. Gebt in ein Schnappdeckelglas ein Jelly Belly und fügt anschließend etwas dest. Wasser hinzu.</p> <p>2. Erhitzt nun auf max. 100 °C. → Hinweis: Nimmt das dest. Wasser die Farbe der Jelly Bellys an, kann das Becherglas von der Heizplatte herunter genommen werden.</p>	<p>Schnappdeckelglas mit dest. Wasser und 1 Jelly Belly Magnetrührer mit Heizplatte</p>
<p>3. Überführt nun die Farbstofflösung in mehrerer Reagenzgläser. → Hinweis: Die Schnappdeckelgläserchen können noch heiß sein. Verwendet bitte eine Reagenzglaslampe.</p>	<p>Schnappdeckelglas mit Farbstofflösung Trichter Reagenzgläser</p>
<p>4. Weiche Farbstoffe könnten die verschiedenen Jelly Bellys enthalten? Führt mit Hilfe der Infokarte die Farbstoffanalysen durch.</p>	<p>Welcher Farbstoff ist in diesem Lösung?</p>

Dem unsichtbaren Gas auf der Spur

<p>Tipp 3 - Kohlenstoffdioxid</p> <p>Kohlenstoffdioxid lässt sich mit Kalkwasser nachweisen.</p>	<p>1. Schritt: Kohlendioxid 2. Schritt: Kalkwasser 3. Schritt: Milchige Suspension 4. Schritt: Kalkwasser + Kohlendioxid</p>
<p>Tipp 3 - Wasserdampf</p> <p>Wasserdampf lässt sich mit dem Wattemopapier nachweisen.</p>	<p>1. Schritt: Wasserdampf 2. Schritt: Blau 3. Schritt: Blau + Wasserdampf</p>

Auswertung

<p>Tipp 5</p> <p>→ Die Edukte dieser Reaktion sind: Kalkwasser + ?</p>
<p>Tipp 6</p> <p>→ Die Produkte dieser Reaktion sind: Wasser + ?</p>

Die bunten Jelly bellys

Notizen für das Laborjournal

- Notiert bei der Farbstoffanalyse für jeden Jelly Belly die jeweiligen Analyselösungen, die ihr zugegeben habt.
- Nehmt die Beobachtungen bei den jeweiligen Farbstoffanalysen auf.
- Welche Farbstoffe kommt ihr eindeutig nachweisen? Schreibt diese auf.

Einige Farbstoffe der Jelly Bellys kommt ihr wahrscheinlich nicht eindeutig nachweisen. Überlegt euch mögliche Gründe und listet diese auf.

Für Schnelle Gruppen

- Recherchiert die Strukturformeln der drei Farbstoffgruppen im Internet. Diskutiert, warum diese als Indikatoren reagieren.

Infokarte		
Farbstoff	E-Nummer	Nachweismethode
Betanin	E162	<p>Zugabe von ca. 1 ml. Salzsäure Lösung = violett/rot sauer</p> <p>Zugabe von ca. 1 ml. Natrionlauge Lösung = braun/gelb neutral</p> <p>Zugabe von ca. 1 ml. Natrionlauge Lösung = basisch</p>
Anthocyane (Cyanidin)	E163ii	<p>Zugabe von ca. 1 ml. Salzsäure Lösung = rot sauer</p> <p>Zugabe von ca. 1 ml. Natrionlauge Lösung = blau/grün neutral</p> <p>Zugabe von ca. 1 ml. Ammoniumacetat-Lösung Lösung = violett basisch</p> <p>Zugabe von ca. 1 ml. Wasserstoffperoxid-Lösung in basische Farbstoff-Lösung Lösung = blauschwarz basisch</p>
Curcumin	E100	<p>Zugabe von ca. 1 ml. Salzsäure Lösung = gelb sauer</p> <p>Zugabe von ca. 1 ml. Natrionlauge Lösung = braun/orange neutral</p> <p>Zugabe von ca. 1 ml. Natrionlauge Lösung = basisch</p>

Die bunten Jelly bellys

Entsorgung und Aufräumen

- Lösungen mit Wasserstoffperoxid bitte in den Behälter 1 geben.
- Alle anderen Lösungen werden über den Abfluss entsorgt.
- Alle Laborgeräte bitte wieder gewaschen und sauber an die Station zurücklegen.



Universität Regensburg

Coolpack

	<ul style="list-style-type: none"> - Calciumchlorid - Ammoniumchlorid - Natriumchlorid 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Bechergläser - Glasstäbe - Spatel - Überraschungseier - Schweißgerät (aus Küche) 	<ul style="list-style-type: none"> - Thermometer - Waage - Folien zum Verschweißen (alternativ Zippbeutel) - Optional: Wärmebildkamera



13



Universität Regensburg

4 Experimente zu dem Thema „Salze“ in einem Koffer

	<p>Säuren und Basen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Schwefelsäure-Lösung, c = 0,1 mol/L - Salzsäure-Lösung, c = 0,1 mol/L - Salpetersäure-Lösung, c = 0,1 mol/L - Natriumhydroxid-Lösung, c = 0,1 mol/L <p>Salzlösungen für die Flammenfärbung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Calciumchlorid-Lösung, w = 5 % - Strontiumchlorid-Lösung, w = 5 % - Strontiumnitrat-Lösung, w = 5 % - Natriumchlorid-Lösung, w = 5 % - Kupfer(II)chlorid-Lösung, w = 5 % <p>Salzlösungen für positive Ionennachweise:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Magnesiumchlorid-Lösung, w = 5 % - Eisen(II)sulfat-Lösung, w = 5 % 	<p>Nachweisreagenzien für die Ionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ammoniumoxalat-Lösung, w = 5 % - Silbernitrat-Lösung, w = 1 % - Bariumchlorid-Lösung, c = 0,1 mol/L - Kaliumhexacyanidoferrat(III)-Lösung, w = 5 % - Thiazolgelb-Lösung, w = 5 % <p>Feststoffe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Natriumchlorid - Kaliumnitrat - Sportgetränk (Isostar, orange) - Lebensmittelfarben
	<ul style="list-style-type: none"> - Reagenzgläser - Reagenzglasgestell - Stopfen für Reagenzgläser - Bechergläser - Glasstäbe - Messzylinder - Spatel - Plastiktrichter - Plastikpipetten - Waage 	<ul style="list-style-type: none"> - Magnetrührer - Rührfische - Küchenbrenner - Magnesiastäbchen - Magnesiarinne - Abdampfschale - Leitfähigkeitsmesser - Spritzen (2-teilig) - Süße



14



Universität Regensburg

Dem unsichtbaren Gas auf der Spur

	<ul style="list-style-type: none"> - Calciumhydroxid-Lösung, w = 0,17 % - Brausetabletten mit Magnesium-Ionen - Watesmopapier 	<ul style="list-style-type: none"> - Pulvertrichter - Mörser mit Pistill - Plastikpipetten - Gastransportbehälter - Spritzen (3-teilig) mit Luer-Lock - Spritzen (2-teilig) - Dreiwegehahn - Verschlussstopfen für Luer-Lock - Plastikschläuche - PE-Tropfflasche - Stifte 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Reagenzgläser - Reagenzglasgestell - Reagenzgläser mit seitlichem Hahn - Stopfen für Reagenzgläser - Erlenmeyerkolben mit Schliff - Stopfen mit Glasrohr für Erlenmeyerkolbe - Bechergläser - Spatel - Glimmspann - Teelicht - Feuerzeug 		

11



Universität Regensburg

Die bunten Jelly Bellys

	<ul style="list-style-type: none"> - Salzsäure-Lösung, c = 0,1 mol/L - Natriumhydroxid-Lösung, c = 0,1 mol/L - Wasserstoffperoxid-Lösung, w = 15 % - Aluminiumacetat-Lösung, gesättigt - Jelly Bellys 	<ul style="list-style-type: none"> - Messzylinder - Schnappdeckelgläser - Plastiktrichter - Heizplatte - Stifte 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Reagenzgläser - Stopfen für Reagenzgläser - Reagenzglasgestell - Reagenzglasklammer - Plastikpipetten 		

12

14.2 Messinstrumente

14.2.1 Fragebögen zur Bewertung der Fortbildungsmaßnahme



Universität Regensburg
Didaktik der Chemie

Selbstgesteuertes Experimentieren

Feedback zur Fortbildung

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer der Fortbildung,
 Im Folgenden möchten wir Sie bitten, Ihre Meinung zu der Fortbildung abzugeben. Füllen Sie bitte dazu den Fragebogen gewissenhaft und vollständig aus. Bitte machen Sie genau ein Kreuz pro Zeile.

	Allgemeines Feedback zur Fortbildung	Sehr zu- treffend	Zutref- fend	Mittel	Unzu- treffend	Sehr un- zutref- fend
1.	Ich konnte mich aktiv an der Fortbildung beteiligen.	<input type="checkbox"/>				
2.	Den Austausch mit den anderen Teilnehmenden halte ich für sinnvoll.	<input type="checkbox"/>				
3.	Ich konnte meine Fragen und Anregungen in die Fortbildung einbringen.	<input type="checkbox"/>				
4.	Durch die Fortbildung habe ich neue Erkenntnisse gewinnen können.	<input type="checkbox"/>				
5.	Die Inhalte der Fortbildung lassen sich meiner Meinung nach gut in den Schulunterricht integrieren.	<input type="checkbox"/>				
6.	Ich habe in der Veranstaltung eine neue Unterrichtsmethode kennengelernt.	<input type="checkbox"/>				
7.	Meiner Meinung nach weisen die Inhalte der Fortbildung einen Lehrplanbezug auf.	<input type="checkbox"/>				
8.	Praktische Beispiele haben mir geholfen die Inhalte der Fortbildung nachzuvollziehen.	<input type="checkbox"/>				
9.	Die Entwicklung der Unterrichtsmaterialien mit den anderen Teilnehmenden habe ich als hilfreich empfunden.	<input type="checkbox"/>				
10.	Die Materialien der Fortbildung eignen sich meiner Meinung nach für einen unmittelbaren Unterrichtseinsatz.	<input type="checkbox"/>				
11.	Das zusätzliche Begleitmaterial der Veranstaltung halte ich für sinnvoll.	<input type="checkbox"/>				
12.	Die Vortragsweise des Referenten habe ich als angenehm empfunden.	<input type="checkbox"/>				



Universität Regensburg
Didaktik der Chemie

Selbstgesteuertes Experimentieren

13.	Der Referent hat meiner Meinung nach einen Schulbezug in der Fortbildung hergestellt.	<input type="checkbox"/>				
14.	Der Referent konnte mich motivieren.	<input type="checkbox"/>				
15.	Ich habe die Gesamtdauer der Veranstaltung als angenehm empfunden.	<input type="checkbox"/>				
16.	Die Größe der Teilnehmerzahl war meiner Meinung nach in Ordnung.	<input type="checkbox"/>				
17.	Meine Erwartungen an die Fortbildung konnten erfüllt werden.	<input type="checkbox"/>				
18.	Insgesamt empfinde ich die Fortbildung als zufriedenstellend.	<input type="checkbox"/>				

An dieser Fortbildung hat mir besonders gut gefallen (in Stichworten):

An dieser Fortbildung hat mir nicht gefallen (in Stichworten):

Weitere Anmerkungen:

Im folgenden Fragebogen geht es um Ihre Einschätzungen zur Qualität der Fortbildung. Bitte füllen Sie den Fragebogen gewissenhaft und vollständig aus. Bitte machen Sie genau ein Kreuz pro Zeile.

Qualität der Fortbildung	Sehr zu- treffend	Zutref- fend	Mittel	Unzu- treffend	Sehr un- zutref- fend
1. Ich habe in dieser Fortbildung viel Neues gelernt.	<input type="checkbox"/>				
2. Ich traue mir prinzipiell zu, die Inhalte der Fortbildung im Unterricht einzusetzen.	<input type="checkbox"/>				
3. Mein Wissen konnte ich durch die Fortbildung erweitern.	<input type="checkbox"/>				
4. Ich habe das Gefühl, alles verstanden zu haben.	<input type="checkbox"/>				
5. Ich habe durch diese Fortbildung ein breiteres Wissen.	<input type="checkbox"/>				

Im folgenden Fragebogen geht es um Motivation die Fortbildungsinhalte im Unterricht einzusetzen. Bitte füllen Sie den Fragebogen gewissenhaft und vollständig aus. Bitte machen Sie genau ein Kreuz pro Zeile.

Einsatz der Fortbildungsinhalte	Sehr zu- treffend	Zutref- fend	Mittel	Unzu- treffend	Sehr un- zutref- fend
1. Ich habe vor, mehr selbstgesteuerte Experimente in meinem Unterricht einzusetzen.	<input type="checkbox"/>				
2. Ich habe vor, zukünftig die Phasen eines Experimentierprozesses stärker zu berücksichtigen.	<input type="checkbox"/>				
3. Ich habe vor, mehr Unterstützungsmaßnahmen beim Experimentieren anzubieten.	<input type="checkbox"/>				
4. Ich habe vor, das Strukturierungskonzept zur Planung von selbstgesteuerten Experimenten einzusetzen.	<input type="checkbox"/>				
5. Ich habe vor, mehr hypothesenüberprüfende oder hypothesengenerierende Experimente im Unterricht einzusetzen.	<input type="checkbox"/>				
6. Ich habe vor, die bereitgestellten Materialien im Unterricht einzusetzen.	<input type="checkbox"/>				
7. Ich werde die Fortbildung meinen Kollegen empfehlen.	<input type="checkbox"/>				

14.2.2 Test zur experimentellen Planungskompetenz

Der Test zur Erfassung der Planungskompetenz hinsichtlich selbstgesteuerter Experimente kann bei dem Autor angefordert werden.



Universität Regensburg
Didaktik der Chemie

Prüfungsfragenbogen



Universität Regensburg
Didaktik der Chemie

Pf-Prüfungsfragenbogen

Frage 1

Mit Hilfe hypothesengeleiteter Experimente können Sie das selbstgesteuerte Experimentieren im Unterricht umsetzen. Bringen Sie bitte die folgenden **Schritte eines hypothesentestenden Erkenntnisgewinnungsprozesses** in eine dem wissenschaftlichen Vorgehen entsprechende Reihenfolge.

- Eine Hypothese aufstellen
- Ein Experiment durchführen
- Eine Schlussfolgerung aus den Ergebnissen formulieren
- Die Beobachtungen beim Experimentieren aufnehmen
- Eine Fragestellung zu einer gegebenen Problemstellung formulieren
- Die gewonnenen Daten aufbereiten
- Ein Experiment zu einer Hypothese planen

1. Schritt	2. Schritt	3. Schritt	4. Schritt	5. Schritt	6. Schritt	7. Schritt

Fragebogen zum selbstgesteuerten Experimentieren

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer der Fortbildung,

Im Folgenden bitten wir Sie den anonymen Fragebogen zu dem fachdidaktischen Wissen auszufüllen. Wir bitten Sie sehr freundlich, die Fragen vollständig zu beantworten.

Wir sichern Ihnen selbstverständlich die vertrauliche und anonymisierte Behandlung Ihrer Angaben zu.

Aufgabenstellung

- ✓ Füllen Sie bitte nach der Beispielanleitung den Code zur Anonymisierung des Fragebogens aus.

Beispielcode	
Vorname Ihres Vaters	Martin
Vorname Ihrer Mutter	Susanne
Ihr Geburtstag	02.12.1980
Generierter Code	MaSu02
Ihr Code	

- ✓ Geben Sie bitte noch **allgemeine Informationen** zu Ihrer Person an.

Schulform	<input type="checkbox"/> Realschule <input type="checkbox"/> Gymnasium
Fächerverbindung	
Ausbildungsstand	<input type="checkbox"/> Referendar <input type="checkbox"/> Lehrkraft <input type="checkbox"/> Seminarlehrkraft

- ✓ Bitte bearbeiten Sie **alle Aufgaben der Reihe nach** und blättern Sie nicht zurück.
- ✓ **1 bis 3 Antworten** sind bei den **Multiple-Choice-Aufgaben korrekt**.
- ✓ Sie haben für die Bearbeitung **15 min.** Zeit.
- ✓ Möchten Sie Ihre Antwort bei einer **Frage ändern**, streichen Sie bitte das Kästchen **deutlich durch** und kreuzen dann das richtige Kästchen an.

Vielen Dank im Voraus für Ihre Mühe und Ihr Vertrauen,

Lars Ehlerl und Oliver Tappier

Frage 3

Eine Referendarin möchte eine **möglichst offene Experimentiersituation** einsetzen. Dafür möchte sie die SuS **die Inhalte wählen** lassen. Ihre Referendarin möchte dies an dem Thema „Stoffeigenschaften der Salze“ umsetzen.

Welche Vorgehensweise(n) mit dem höchsten Öffnungsgrad würden Sie der Referendarin dabei empfehlen?

Antwortmöglichkeiten

- Sie bietet Stationen zur Überprüfung der Leitfähigkeit, der Löslichkeit und der makroskopischen Eigenschaften der Salze zur Auswahl für die SuS an.
- Die SuS recherchieren zu einer zugewiesenen Stoffeigenschaft im Internet und dürfen dann selbstgesteuert Experimente zu dieser Stoffeigenschaft durchführen.
- Die SuS dürfen nach eigener Recherche eine ausgewählte Stoffeigenschaft der Salze überprüfen.
- Die SuS überprüfen die Leitfähigkeit und die Löslichkeit der Salze mit selbstständig geplanten Experimenten.

4

Frage 2

Ihr Referendar plant, **die Flammenfärbung** mit seiner 8. Klasse durchzuführen. Er fragt Sie, ob er diesen Versuch auch **als selbstgesteuerte Variante** durchführen kann.

Zu **welcher(n) Variante(n)** würden Sie ihm raten?

Antwortmöglichkeiten

- Dieser effektvolle Versuch sollte eher als Lehrerdemonstration durchgeführt werden.
- Dieses Nachweisesperiment eignet sich nicht für das selbstgesteuerte Experimentieren.
- Bei Beachtung der Sicherheitsaspekte können die SuS diesen Versuch als selbstgesteuertes Experiment durchführen.
- Nur die Auswertungsphase sollte bei diesem Experiment selbstgesteuert durchgeführt werden.

3

Frage 4

Das selbstgesteuerte Experimentieren fördert unter anderem den Kompetenzbereich „Erkenntnisgewinnung“. In den nationalen Bildungsstandards ist unter der **Kompetenz E 2** beschrieben, dass die SuS geeignete Untersuchungen zur Überprüfung von Vermutungen und Hypothesen planen sollen.

Welche(n) der folgenden Ansätze fördern(t) am besten diese Kompetenz, wenn von einer offenen Experimentier-situation ausgegangen wird?

Antwortmöglichkeiten

<input type="checkbox"/>	Die SuS führen einen Versuch nach einer Versuchsvorschrift selbstständig durch und werten diesen selbstständig aus.
<input type="checkbox"/>	Die SuS entwickeln im Lehrer-Schüler-Gespräch eine Hypothese und führen anschließend einen dem Experiment entsprechenden naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess durch.
<input type="checkbox"/>	Die SuS führen zu einer vorgegebenen Hypothese einen Versuch nach Anleitung durch und notieren sich selbstständig die Beobachtungen.
<input type="checkbox"/>	Die SuS stellen eine Hypothese zu einer Fragestellung selbstständig auf und überprüfen die Hypothese mit stark vorskizzierten Experimenten.

Frage 5

Ihr Referendar plant, die Auswertung und Sicherung eines Experiments möglichst selbstgesteuert zu gestalten.

Zu welcher(n) Variante(n) würden Sie ihm raten?

Antwortmöglichkeiten

<input type="checkbox"/>	In Kleingruppen werden die Experimente ausgewertet und anschließend die wichtigsten Erkenntnisse mit der gesamten Klasse diskutiert. Alle Lösungsvorschläge werden im Heft gesichert.
<input type="checkbox"/>	In Kleingruppen wird das Experiment ausgewertet. Die Ergebnisse werden von den SuS an der Tafel gesammelt und das korrekte Ergebnis ins Heft geschrieben.
<input type="checkbox"/>	In Kleingruppen wird das Experiment zunächst ausgewertet und anschließend stellen die Gruppen ihre Ergebnisse vor. Abschließend wird die richtige Lösung im Heft festgehalten.
<input type="checkbox"/>	In Kleingruppen wird das Experiment zunächst ausgewertet und anschließend stellt eine Gruppe ihre Ergebnisse vor. Die Sicherung erfolgt durch die Lehrkraft an der Tafel und die SuS schreiben diese Lösung von der Tafel ab.

Frage 7

Ihre Referendarin plant eine Unterrichtsstunde mit einem Schülerexperiment. Nun möchte sie von Ihnen gerne wissen, was sie bei der **methodischen Umsetzung bezüglich der Chemikalien und des Labormaterials** beachten soll, um das Experiment in diesem **Aspekt möglichst offen** gestalten zu können.

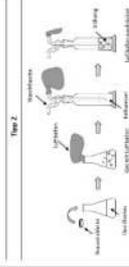
Antwortmöglichkeiten

- Die SuS können aus einem zielführenden Angebot aus Chemikalien und Labormaterialien frei wählen.
- Die SuS können bei den Chemikalien und den Labormaterialien aus einem bereitgestellten Angebot, mit vorwiegend zielführenden Labormaterialien, auswählen.
- Die SuS können bei den Laborgeräten aus einem bereitgestellten Angebot auswählen und die Chemikalien sind auf das Experiment beschränkt.
- Die SuS können bei den Chemikalien und den Labormaterialien aus einem bereitgestellten Angebot auswählen. Dabei sind nicht alle Labormaterialien zielführend für das Experiment.

8

Frage 6

Mit Hilfe eines **selbst geplanten Experiments** soll eine Schülergruppe nachweisen, welches Gas bei dem Auflösen einer Magnesiumtablette in Wasser entsteht. **Folgende Tippkarte** wird den SuS bei der Planung ihres Experiments angeboten.



Welche **Art(en) von Lernhilfe(n)** stellt der Tipp 2 dar?
Antwortmöglichkeiten

- Die Hilfkarte gibt den SuS zu diesem Experiment einen finalen fachlichen Input.
- Die Hilfkarte gliedert primär die Problemstellung dieses Experiments in Unterpunkte.
- Die Hilfkarte soll primär das Vorwissen der SuS zu diesem Experiment aktivieren.
- Die Hilfkarte gibt den SuS zu diesem Experiment einen Denkanstoß auf der metakognitiven Ebene.

7

<p>Frage 9</p> <p>Ihr Referendar lässt die SuS selbstständig ein Verfahren zur Trennung eines Stoffgemisches entwickeln. Er bietet den SuS als Unterstützungsmaßnahme eine mündliche Fehlerkorrektur durch Feedback an. Wie soll er bei der Feedbackgebung vor der Versuchsdurchführung bei durchschnittlich guten SuS vorgehen?</p> <p>Antwortmöglichkeiten</p> <p><input type="checkbox"/> Er gibt den SuS ein knappes Feedback, ob ihr Ansatz grundsätzlich richtig oder falsch ist.</p> <p><input type="checkbox"/> Er gibt den SuS bei einem falschen Ansatz mehrere richtige Lösungsansätze zur Auswahl vor.</p> <p><input type="checkbox"/> Er gibt den SuS nach dem Richtig- oder Falschfeedback zusätzliche Informationen darüber, warum ihre Vorschläge richtig oder falsch sind.</p> <p><input type="checkbox"/> Er gibt den SuS bei einem falschen Ansatz die richtige Lösung vor.</p>

10

<p>Frage 8</p> <p>Ihr Referendar möchte mit Hilfe eines schülerzentrierten Experiments den Lösevorgang von Salzen unter energetischer Betrachtung durchführen. Welche Fragestellung(en) können die SuS selbstgesteuert ohne weitere Informationen experimentell überprüfen?</p> <p>Antwortmöglichkeiten</p> <p><input type="checkbox"/> Kältepacks werden als Erste Hilfe Maßnahme bei Prellungen eingesetzt. Sie können Wasser und Ammoniumchlorid enthalten. Was passiert unter chemischer Betrachtung, wenn das Ammoniumchlorid in Wasser gelöst wird?</p> <p><input type="checkbox"/> Kältepacks kühlen sich beim Vermischen der Inhaltsstoffe ab. Wie funktionieren Kältepacks?</p> <p><input type="checkbox"/> Kältepacks werden oft bei Verletzungen im Sport eingesetzt. Nach dem Eindrücken kühlen die Packs innerhalb kürzester Zeit ab. Wie funktionieren die Kältepacks unter Betrachtung des Lösevorgangs von Salzen?</p> <p><input type="checkbox"/> Kältepacks können Wasser und Ammoniumchlorid enthalten. Welches Salz eignet sich für den Bau von Kältepacks?</p>
--

9

Frage 11

Um die Variablenkontrollstrategie seiner SuS zu fördern, möchte ihr Referendar ein Schülerexperiment, welches **möglichst viele Variablen zum Verändern** enthält, durchführen.
Welche Experimentersituation(en) zur Reaktion von unedlen/edlen Metallen mit verdünnten Säuren eignet(n) sich **am besten**, um diese Vorgabe umzusetzen?

Antwortmöglichkeiten

<input type="checkbox"/>	Die SuS führen ein qualitatives Experiment zur Reaktion von je 20 mL einer Salzsäure ($c = 1 \text{ mol/L}$) und Essigsäure ($c = 1 \text{ mol/L}$) mit unterschiedlichen Kupfer- und Magnesiumstücken durch.
<input type="checkbox"/>	Die SuS führen ein qualitatives Experiment zur Reaktion einer Salzsäure ($c = 1 \text{ mol/L}$) und Essigsäure ($c = 1 \text{ mol/L}$) mit jeweils gleich großen Kupfer- und Magnesiumstücken durch.
<input type="checkbox"/>	Die SuS führen ein qualitatives Experiment zur Reaktion einer Salzsäure ($c = 1 \text{ mol/L}$) und Essigsäure ($c = 1 \text{ mol/L}$) mit unterschiedlichen Kupfer- und Magnesiumstücken durch.
<input type="checkbox"/>	Die SuS führen ein qualitatives Experiment zur Reaktion unterschiedlich konzentrierter Salzsäuren mit unterschiedlichen Kupfer- und Magnesiumstücken durch.

12

Frage 10

Ihre Referendarin hat **folgendes Lernziel für eine offene Experimentiersituation** formuliert:
„Die SuS sind in der Lage, selbstgesteuert Experimente zur Überprüfung der Abhängigkeit der Spannung von den Reaktionsparametern, wie z.B., der Konzentration der Metallsalzlösung, zu planen.“

Zu **welcher(n) Experimentiersituation(en)** können Sie ihr raten, damit **das genannte Lernziel möglichst selbstgesteuert umgesetzt** werden kann?

Antwortmöglichkeiten

<input type="checkbox"/>	Die SuS stellen eigenständig Hypothesen zur Abhängigkeit der Spannung eines Daniell-Elements auf und testen diese mit bereits vorbereiteten Experimenten.
<input type="checkbox"/>	Die SuS wählen einen Reaktionsparameter zur Veränderung der Spannung aus und variieren diesen mit Hilfe einer Computersimulation.
<input type="checkbox"/>	Die SuS bauen mit einer Anleitung ein Daniell-Element auf und entwerfen zu einem ausgewählten Reaktionsparameter die weitere Experimentdurchführung.
<input type="checkbox"/>	Die SuS verändern eigenständig mit Hilfe eines leicht vorskizzierten Arbeitsblatts die Reaktionsparameter und entwickeln eigenständig eine Versuchsskizze.

11

Frage 13

Ihr Referendar lässt die SuS den Zusammenhang zwischen der Kettenlänge von primären Alkoholen und ihrer Löslichkeit erarbeiten:

Zu einem Problem sollen die SuS gemeinsam mit der Lehrkraft an der Tafel eine Fragestellung ableiten. Anschließend wählen sie aus einer Liste mit Hypothesen eine Hypothese aus. Zu dieser Hypothese sollen die SuS mit Hilfeskarten ein Experiment entwerfen und dieses ausprobieren. Ihre Beobachtungen halten die SuS eigenständig in einer Tabelle fest und nach einer Plenumsdiskussion werden die Schlussfolgerungen an der Tafel gesichert.

Welche Phase(n) des Experiments zeigt(en) einen **Selbststeuerungsgrad**?

Antwortmöglichkeiten

- Hypothesenbildung
- Beobachtung
- Planung und Durchführung
- Fragestellung

Frage 12

Ordnen Sie bitte die folgenden Aussagen den **Schritten eines hypothesentestenden Erkenntnisgewinnungsprozesses** zu.

- Die Löslichkeit in Wasser von primären Alkoholen sinkt mit steigender Kettenlänge.
- Es werden gleiche Volumina verschiedener primärer Alkohole jeweils in einem bestimmten Volumen Wasser gelöst.
- 1-Pentanol löst sich wenig in Wasser. 1-Decanol löst sich minimal in Wasser. Ethanol löst sich gut in Wasser.
- Wenn die Kettenlänge von primären Alkoholen steigt, dann sinkt ihre Löslichkeit in Wasser.
- Lassen sich alle Alkohole gleich gut in Wasser lösen?

1. Schritt	2. Schritt	3. Schritt	4. Schritt	5. Schritt

Frage 15

Ein **sehr stark geöffnetes Experiment** sollte im idealen Fall **mehrere Wege zur Lösung** ermöglichen. Ihr Referendar fragt Sie, **welche der folgenden Experimentiersituation(en)** diese Vorgabe **am besten** umsetzen kann(können)?

Antwortmöglichkeiten

- | | |
|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | Die SuS analysieren eigenständig mit vorgegebenen Ionennachweisen den Inhalt von Salzlösungen. |
| <input type="checkbox"/> | Die SuS untersuchen qualitativ den Stärkegehalt von Kartoffeln, Gurken und Orangen mit der Lugolschen-Lösung. |
| <input type="checkbox"/> | Die SuS analysieren Metallsalzlösungen mit einem an der Schule üblichen Versuchsaufbau. |
| <input type="checkbox"/> | Die SuS untersuchen den Inhalt eines Wärmekessels und bauen dieses im Anschluss nach. |

16

Frage 14

Ihr Referendar möchte seine SuS **selbstständig** eine Microscale Destillationsapparatur **entwickeln lassen**. Um die SuS bei ihrem Experimentierprozess zu unterstützen, liegen **ausreichend Hilfekarten** vor.

Wie soll er sich als Lehrkraft vor der Durchführung verhalten, damit die SuS **möglichst selbstgesteuert** experimentieren können?

Antwortmöglichkeiten

- | | |
|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | Die Lehrkraft sollte bei falschen Lösungsansätzen den SuS die Lösung vorkizzieren. |
| <input type="checkbox"/> | Die Lehrkraft sollte den SuS vor dem Experimentierprozess Anweisungen zur richtigen Durchführung geben. |
| <input type="checkbox"/> | Die Lehrkraft sollte beobachten und nur eingreifen, wenn die Sicherheit gefährdet würde. |
| <input type="checkbox"/> | Die Lehrkraft sollte nur eingreifen, wenn die SuS keinen richtigen Lösungsansatz erzielen. |

15



Aufgabe 17

Ihr Referendar hat seine SuS eine Säure-Base-Titration **selbstständig planen, durchführen und auswerten** lassen. Jedoch weichen die Ergebnisse stark voneinander ab. Nun möchte er gerne von Ihnen wissen, wie er **am besten** damit **umgehen** soll.

Antwortmöglichkeiten

- Er weist die SuS auf mögliche Fehler bei der Titration hin und lässt anschließend den Versuch von den SuS erneut durchführen.
- Er führt die Titration als Lehrdemonstrationsversuch vor und kommentiert dabei mögliche Fehlerquellen.
- Er weist die SuS darauf hin, dass auch Wissenschaftler häufig zu divergenten Ergebnissen kommen und notiert die Musterlösung der Titration an der Tafel.
- Er diskutiert gemeinsam mit den SuS mögliche Fehler bei dem Versuch und lässt anschließend die Titration von den SuS erneut durchführen.



Aufgabe 16

Eine Referendarin plant eine Unterrichtsstunde, bei der ihre SuS zu einer vorgegebenen Hypothese ein Experiment **selbstständig planen** sollen. Sie möchte **gestufte Tippkarten** für die **Planung des Versuchsaufbaus** einsetzen.

Zu **welcher(n) Variante(n)** können Sie ihr für die **finale Tippkarte** der gestuften Tippkarten raten?

Antwortmöglichkeiten

- Die Tippkarte fordert die SuS auf, ihre Versuchsaufbauten zu visualisieren.
- Die Tippkarte enthält einen fachlichen Input zu dem Versuchsaufbau.
- Die Tippkarte enthält den Hinweis, die Problemstellung bei dem Versuchsaufbau in Unterpunkte aufzugliedern und anschließend in der Gruppe zu diskutieren.
- Die Tippkarte fordert die SuS auf, eine verschriftliche Anleitung des Versuchsaufbaus zu lesen.

Frage 18	Ihre Referendarin möchte den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung fördern. Zu weicher(n) Experimentersituation(en) können Sie ihr raten, damit dieser Kompetenzbereich am umfangreichsten gefördert werden kann?
	Antwortmöglichkeiten
<input type="checkbox"/>	Die Referendarin lässt die SuS nach der selbstständigen Hypothesenaufstellung einen dazu passenden, kleinschrittigen Infotext zum Versuchsaufbau lesen. Die SuS führen das Experiment anschließend selbstständig durch.
<input type="checkbox"/>	Die SuS wählen auf Basis ihres Vorwissens eine Hypothese aus einer Liste aus und führen ein entsprechendes, vorbereitetes Experiment durch.
<input type="checkbox"/>	Die Referendarin entwickelt gemeinsam mit den SuS eine Hypothese und die SuS führen nach der eigenen Planung das Experiment durch.
<input type="checkbox"/>	Zu einer vorhandenen Hypothese skizzieren die SuS ihren Versuchsplan und die Referendarin führt den am besten geplanten Versuch selber durch.

14.2.3 Test zum experimentell-fachdidaktischen Wissen

Im Zuge der Validierung wurde der unveröffentlichte Test nach Backes et al. (2012) verwendet.

14.3 Detaillierte Ergebnisse zur Forschungsfrage 1.1

Tabelle 14-1: Pilotierung I - Reliabilitätsanalyse der Rohdaten

	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
PPo_1_5	41,33	19,979	-,228	,545
PPo_1_6	41,42	18,689	,299	,516
PPo_1_7	41,42	18,689	,299	,516
PPo_2_2	41,33	19,042	,384	,521
PPo_2_3	41,33	19,354	,177	,529
PPo_2_4	41,42	19,127	,144	,528
PPo_3_1	41,97	20,218	-,184	,560
PPo_3_2	41,82	18,591	,184	,522
PPo_3_3	41,55	19,693	-,059	,546
PPo_3_4	41,33	19,979	-,228	,545
PPo_4_1	41,33	19,729	-,067	,539
PPo_4_2	41,39	19,184	,151	,528
PPo_4_3	41,33	19,979	-,228	,545
PPo_4_4	41,48	19,320	,053	,535
PPo_5_1	41,94	20,184	-,175	,560
PPo_5_2	41,76	19,189	,047	,537
PPo_5_3	41,97	20,030	-,141	,556
PPo_5_4	41,55	18,943	,138	,527
PPo_6_1	41,58	19,127	,082	,533
PPo_6_2	41,33	19,042	,384	,521
PPo_6_3	41,79	18,860	,122	,529
PPo_6_4	41,55	18,193	,343	,507
PPo_7_1	41,76	19,064	,076	,534
PPo_7_2	41,85	20,195	-,175	,561
PPo_7_3	41,85	18,445	,220	,518
PPo_7_4	41,70	18,655	,176	,523
PPo_8_2	41,64	20,489	-,245	,566
PPo_8_3	41,52	18,820	,184	,523
PPo_8_4	41,61	19,309	,031	,538
PPo_9_1	42,18	19,966	-,142	,548
PPo_9_2	41,70	18,780	,146	,526
PPo_9_3	41,79	18,672	,165	,524
PPo_9_4	41,52	20,133	-,174	,556
PPo_10_1	41,42	19,377	,058	,534
PPo_10_2	41,45	19,506	,005	,539
PPo_10_3	41,42	18,377	,411	,508
PPo_11_1	41,39	19,496	,029	,536

PPo_11_2	41,39	19,246	,126	,530
PPo_11_3	41,79	19,860	-,102	,554
PPo_11_4	41,55	18,568	,239	,518
PPo_12_1	41,45	19,318	,064	,534
PPo_12_2	41,39	18,309	,505	,505
PPo_12_3	41,64	18,489	,228	,518
PPo_12_4	41,45	19,818	-,091	,546
PPo_13_2	41,88	17,797	,379	,499
PPo_13_3	41,91	17,773	,391	,498
PPo_13_4	41,91	17,773	,391	,498
PPo_13_5	41,39	18,996	,226	,523
PPo_14_1	41,67	17,917	,363	,502
PPo_14_2	41,70	18,405	,236	,516
PPo_14_3	41,33	19,292	,218	,528
PPo_14_4	41,39	19,434	,053	,534
PPo_15_1	41,33	19,354	,177	,529
PPo_15_2	41,64	18,614	,197	,521
PPo_15_3	41,70	18,843	,131	,528
PPo_15_4	41,48	19,070	,126	,529
PPo_16_1	42,21	19,172	,156	,528
PPo_16_2	41,36	19,614	-,008	,537
PPo_16_3	42,24	19,939	-,158	,545
PPo_16_4	41,33	19,292	,218	,528

Tabelle 14-2: Pilotierung I - Reliabilitätsanalyse mit akzeptablen Trennschärfen

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
PPo_1_6	26,79	20,485	,399	,757
PPo_1_7	26,79	20,485	,399	,757
PPo_2_2	26,70	21,093	,418	,761
PPo_2_3	26,70	21,405	,221	,765
PPo_2_4	26,79	21,360	,105	,768
PPo_4_2	26,76	21,502	,076	,769
PPo_6_1	26,94	20,809	,189	,766
PPo_6_2	26,70	21,093	,418	,761
PPo_6_3	27,15	20,945	,127	,771
PPo_6_4	26,91	20,085	,389	,756
PPo_7_3	27,21	19,922	,357	,757
PPo_7_4	27,06	20,246	,291	,761
PPo_8_3	26,88	20,485	,302	,760
PPo_8_4	26,97	21,218	,083	,772

PPo_9_2	27,06	20,559	,219	,765
PPo_9_3	27,15	20,883	,140	,770
PPo_10_1	26,79	20,860	,272	,762
PPo_10_3	26,79	20,235	,485	,754
PPo_11_2	26,76	21,252	,169	,766
PPo_11_4	26,91	20,898	,177	,767
PPo_12_1	26,82	21,466	,057	,771
PPo_12_2	26,76	20,189	,578	,752
PPo_12_3	27,00	20,687	,201	,766
PPo_13_2	27,24	19,439	,475	,750
PPo_13_3	27,27	19,580	,448	,752
PPo_13_4	27,27	19,580	,448	,752
PPo_13_5	26,76	21,127	,216	,764
PPo_14_1	27,03	19,780	,408	,754
PPo_14_2	27,06	20,496	,234	,764
PPo_14_3	26,70	21,343	,260	,764
PPo_14_4	26,76	21,627	,029	,771
PPo_15_1	26,70	21,593	,104	,767
PPo_15_2	27,00	20,000	,365	,757
PPo_15_4	26,85	21,195	,123	,769
PPo_16_1	27,58	21,314	,145	,767
PPo_16_2	26,73	21,642	,040	,769
PPo_16_4	26,70	21,343	,260	,764

Tabelle 14-3: Pilotierung II - Reliabilitätsanalyse der Rohdaten

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
PPo_1_1	58,04	33,520	,000	,701
PPo_1_2	58,04	33,520	,000	,701
PPo_1_3	58,04	33,520	,000	,701
PPo_1_4	58,04	33,520	,000	,701
PPo_1_5	58,08	33,297	,077	,701
PPo_1_6	58,29	30,129	,658	,673
PPo_1_7	58,25	30,370	,651	,675
PPo_2_1	58,08	33,210	,114	,700
PPo_2_2	58,08	33,384	,040	,701
PPo_2_3	58,04	33,520	,000	,701
PPo_2_4	58,04	33,520	,000	,701
PPo_3_1	58,13	34,027	-,178	,708
PPo_3_2	58,38	33,549	-,047	,709

PPo_3_3	58,33	33,623	-,059	,709
PPo_3_4	58,25	31,326	,435	,685
PPo_4_1	58,21	31,824	,361	,689
PPo_4_2	58,38	30,158	,592	,674
PPo_4_3	58,04	33,520	,000	,701
PPo_4_4	58,29	32,042	,256	,693
PPo_5_1	58,21	33,303	,016	,704
PPo_5_2	58,63	32,766	,087	,702
PPo_5_3	58,17	33,884	-,122	,708
PPo_5_4	58,08	33,384	,040	,701
PPo_6_1	58,46	31,042	,396	,685
PPo_6_2	58,29	32,129	,238	,694
PPo_6_3	58,46	31,129	,380	,686
PPo_6_4	58,29	33,433	-,021	,706
PPo_7_1	58,13	32,897	,168	,698
PPo_7_2	58,25	33,239	,023	,704
PPo_7_3	58,13	32,027	,442	,689
PPo_7_4	58,17	31,623	,469	,686
PPo_8_1	58,63	32,245	,179	,697
PPo_8_2	58,17	31,101	,612	,681
PPo_8_3	58,50	33,043	,037	,705
PPo_8_4	58,58	32,862	,068	,703
PPo_9_1	58,71	35,520	-,389	,726
PPo_9_2	58,92	34,514	-,279	,714
PPo_9_3	58,21	31,911	,340	,690
PPo_9_4	58,04	33,520	,000	,701
PPo_10_1	58,08	32,254	,528	,690
PPo_10_2	58,50	30,087	,568	,674
PPo_10_3	58,50	32,348	,158	,698
PPo_10_4	58,46	32,955	,054	,704
PPo_11_1	58,21	33,042	,076	,701
PPo_11_2	58,13	33,158	,087	,700
PPo_11_3	58,63	34,940	-,281	,721
PPo_11_4	58,29	31,172	,436	,684
PPo_12_1	58,17	34,058	-,165	,710
PPo_12_2	58,50	31,304	,344	,688
PPo_12_3	58,46	30,346	,526	,677
PPo_12_4	58,46	31,129	,380	,686
PPo_12_5	58,08	33,297	,077	,701
PPo_13_1	58,33	33,275	,005	,706
PPo_13_2	58,50	33,652	-,066	,710
PPo_13_3	58,08	32,254	,528	,690
PPo_13_4	58,08	33,297	,077	,701

PPo_14_1	58,04	33,520	,000	,701
PPo_14_2	58,13	33,505	-,020	,704
PPo_14_3	58,21	33,129	,056	,702
PPo_14_4	58,33	32,232	,203	,696
PPo_15_1	58,83	32,754	,125	,699
PPo_15_2	58,13	32,288	,359	,692
PPo_15_3	58,25	33,152	,041	,703
PPo_15_4	58,29	32,476	,168	,697
PPo_16_1	58,13	33,071	,114	,700
PPo_16_2	58,50	32,696	,097	,702
PPo_16_3	58,13	32,723	,222	,696
PPo_16_4	58,67	32,580	,123	,700
PPo_17_1	58,08	33,297	,077	,701
PPo_17_2	58,13	32,984	,141	,699
PPo_17_3	58,04	33,520	,000	,701
PPo_17_4	58,08	32,688	,338	,695
PPo_18_1	58,21	34,346	-,218	,713
PPo_18_2	58,17	33,275	,033	,703
PPo_18_3	58,25	33,326	,005	,705
PPo_18_4	58,04	33,520	,000	,701

Tabelle 14-4: Pilotierung II - Reliabilitätsanalyse mit akzeptablen Trennschärfen

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
PPo_1_6	23,54	30,433	,664	,863
PPo_1_7	23,50	30,348	,732	,862
PPo_2_1	23,33	33,536	,123	,874
PPo_3_4	23,50	31,304	,515	,867
PPo_4_1	23,46	31,911	,421	,869
PPo_4_2	23,62	30,418	,606	,864
PPo_4_4	23,54	32,346	,264	,873
PPo_5_2	23,87	33,332	,049	,880
PPo_6_1	23,71	31,259	,418	,869
PPo_6_2	23,54	31,911	,352	,871
PPo_6_3	23,71	31,085	,450	,868
PPo_7_3	23,37	32,071	,537	,868
PPo_7_4	23,42	32,167	,414	,869
PPo_8_1	23,87	32,462	,201	,875
PPo_8_2	23,42	30,949	,746	,863
PPo_9_3	23,46	32,172	,359	,870

PPo_10_1	23,33	32,493	,573	,869
PPo_10_2	23,75	31,587	,353	,871
PPo_11_1	23,46	32,955	,176	,874
PPo_11_2	23,37	33,288	,153	,874
PPo_11_4	23,54	31,476	,442	,869
PPo_12_2	23,75	30,891	,480	,868
PPo_12_3	23,71	30,303	,597	,864
PPo_12_4	23,71	30,476	,564	,865
PPo_13_3	23,33	32,493	,573	,869
PPo_14_4	23,58	31,993	,316	,872
PPo_15_2	23,37	32,505	,398	,870
PPo_16_2	23,75	31,761	,322	,872
PPo_16_3	23,37	32,766	,316	,871
PPo_17_2	23,37	32,766	,316	,871
PPo_17_4	23,33	32,667	,497	,870
PPo_18_2	23,42	33,123	,162	,874

Tabelle 14-5: Hauptstudie - Reliabilitätsanalyse der Rohdaten

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
PPo_1_1	56,02	29,118	,290	,631
PPo_1_2	56,02	29,118	,290	,631
PPo_1_3	56,02	29,118	,290	,631
PPo_1_4	56,00	29,619	,000	,637
PPo_1_5	56,07	27,733	,670	,613
PPo_1_6	56,35	29,471	-,016	,643
PPo_1_7	56,37	29,382	,000	,642
PPo_2_1	56,00	29,619	,000	,637
PPo_2_2	56,05	29,141	,188	,632
PPo_2_3	56,00	29,619	,000	,637
PPo_2_4	56,05	29,093	,209	,631
PPo_3_1	56,28	27,873	,321	,620
PPo_3_2	56,49	30,303	-,169	,654
PPo_3_3	56,51	29,351	,002	,642
PPo_3_4	56,51	29,827	-,084	,648
PPo_4_1	56,07	28,543	,367	,625
PPo_4_2	56,16	29,282	,049	,637
PPo_4_3	56,05	28,950	,272	,630
PPo_4_4	56,28	29,254	,032	,639
PPo_5_1	56,12	28,772	,213	,629

PPo_5_2	56,47	28,398	,180	,629
PPo_5_3	56,30	28,406	,201	,628
PPo_5_4	56,02	29,642	-,028	,638
PPo_6_1	56,53	27,731	,307	,620
PPo_6_2	56,33	30,225	-,159	,652
PPo_6_3	56,33	28,701	,136	,633
PPo_6_4	56,26	28,338	,231	,627
PPo_7_1	56,21	27,550	,440	,615
PPo_7_2	56,35	28,899	,094	,635
PPo_7_3	56,09	28,896	,202	,630
PPo_7_4	56,16	27,568	,487	,614
PPo_8_1	56,63	30,953	-,289	,661
PPo_8_2	56,23	28,373	,233	,627
PPo_8_3	56,42	29,535	-,030	,644
PPo_8_4	56,56	28,443	,172	,630
PPo_9_1	56,53	31,159	-,319	,664
PPo_9_2	56,79	29,550	-,023	,642
PPo_9_3	56,26	28,528	,190	,629
PPo_9_4	56,07	29,400	,055	,636
PPo_10_1	56,12	28,058	,424	,619
PPo_10_2	56,40	28,102	,243	,625
PPo_10_3	56,53	28,540	,153	,631
PPo_10_4	56,16	29,092	,096	,635
PPo_11_1	56,12	28,391	,325	,624
PPo_11_2	56,05	29,617	-,019	,638
PPo_11_3	56,60	29,483	-,020	,643
PPo_11_4	56,14	28,123	,369	,621
PPo_12_1	56,02	29,738	-,085	,639
PPo_12_2	56,56	27,586	,337	,618
PPo_12_3	56,56	27,586	,337	,618
PPo_12_4	56,56	27,586	,337	,618
PPo_12_5	56,00	29,619	,000	,637
PPo_13_1	56,16	29,282	,049	,637
PPo_13_2	56,47	28,255	,207	,628
PPo_13_3	56,07	29,162	,140	,633
PPo_13_4	56,26	28,195	,262	,625
PPo_14_1	56,02	29,357	,145	,634
PPo_14_2	56,00	29,619	,000	,637
PPo_14_3	56,02	28,976	,378	,629
PPo_14_4	56,42	29,487	-,022	,643
PPo_15_1	56,79	30,550	-,242	,654
PPo_15_2	56,09	29,515	,006	,638
PPo_15_3	56,09	29,277	,080	,635

PPo_15_4	56,16	28,187	,326	,622
PPo_16_1	56,21	28,217	,282	,624
PPo_16_2	56,53	29,921	-,101	,649
PPo_16_3	56,28	29,444	-,006	,641
PPo_16_4	56,67	28,034	,271	,623
PPo_17_1	56,19	29,584	-,028	,641
PPo_17_2	56,02	29,118	,290	,631
PPo_17_3	56,05	29,712	-,060	,639
PPo_17_4	56,02	29,118	,290	,631
PPo_18_1	56,26	28,290	,241	,626
PPo_18_2	56,19	28,822	,152	,632
PPo_18_3	56,19	28,393	,255	,626
PPo_18_4	56,07	29,305	,089	,635

Tabelle 14-6: Hauptstudie - Reliabilitätsanalyse mit akzeptablen Trennschärfen

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
PPo_1_1	26,56	24,491	,302	,825
PPo_1_2	26,56	24,491	,302	,825
PPo_1_3	26,56	24,491	,302	,825
PPo_1_5	26,60	23,292	,647	,816
PPo_2_4	26,58	24,440	,230	,825
PPo_3_1	26,81	23,298	,334	,822
PPo_4_1	26,60	23,769	,451	,820
PPo_4_3	26,58	24,440	,230	,825
PPo_5_1	26,65	24,185	,213	,825
PPo_5_3	26,84	23,616	,252	,825
PPo_6_4	26,79	23,741	,240	,825
PPo_7_1	26,74	22,528	,581	,813
PPo_7_2	26,88	23,534	,257	,825
PPo_7_3	26,63	24,192	,239	,825
PPo_7_4	26,70	22,645	,615	,813
PPo_8_2	26,77	23,611	,283	,824
PPo_9_3	26,79	23,788	,229	,826
PPo_10_1	26,65	23,709	,366	,821
PPo_10_2	26,93	22,924	,380	,820
PPo_11_1	26,65	23,756	,350	,822
PPo_11_4	26,67	23,082	,524	,816
PPo_12_2	27,09	23,229	,307	,824
PPo_12_3	27,09	23,229	,307	,824

PPo_12_4	27,09	23,229	,307	,824
PPo_13_2	27,00	23,667	,213	,827
PPo_13_4	26,79	23,360	,331	,822
PPo_14_3	26,56	24,395	,365	,824
PPo_15_4	26,70	23,645	,326	,822
PPo_16_1	26,74	23,481	,331	,822
PPo_16_4	27,21	23,550	,259	,825
PPo_17_2	26,56	24,491	,302	,825
PPo_17_4	26,56	24,491	,302	,825
PPo_18_1	26,79	23,408	,320	,823
PPo_18_2	26,72	23,396	,372	,821
PPo_18_3	26,72	23,301	,398	,820

Tabelle 14-7: Hauptstudie - Reliabilitätsanalyse der Rohdaten

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
I_1	50,86	26,932	,073	,486
I_2	53,09	28,658	,211	,463
I_3	54,79	28,503	,013	,491
I_4	53,56	27,586	,118	,468
I_5	53,91	26,563	,245	,442
I_6	54,44	26,872	,084	,482
I_7	53,81	24,346	,461	,390
I_8	54,84	28,759	-,031	,505
I_9	54,65	29,614	-,065	,496
I_10	54,21	24,884	,487	,395
I_11	53,91	26,753	,317	,435
I_12	53,70	25,216	,133	,474
I_13	53,95	26,045	,350	,424
I_14	53,47	28,588	,124	,467
I_15	54,14	28,694	,055	,477
I_16	54,70	27,073	,122	,468
I_17	53,28	28,777	,078	,473
I_18	53,70	26,359	,225	,444

Tabelle 14-8: Hauptstudie - Mean-Square-(MNSQ)-Fit-Statistik

Mean-Square-(MNSQ)-Fit-Statistik				
Item	Infit		Outfit	
	MNSQ	T	MNSQ	T
PPo_1_1	.53	-1.02	.59	-2.15
PPo_1_2	.53	-1.03	.59	2.15

PPo_1_3	.53	-1.03	.59	-2.15
PPo_1_5	.74	-.59	.60	-2.08
PPo_1_6	.88	-.57	.91	-.34
PPo_1_7	.90	-.53	.92	-.32
PPo_2_2	.22	-2.59	.26	-4.93
PPo_2_4	.66	-.75	.71	-1.46
PPo_3_1	.78	-1.03	.79	-.98
PPo_3_2	.98	-.09	.96	-.10
PPo_3_3	1.12	.73	1.11	.58
PPo_3_4	.97	-.12	.97	-.05
PPo_4_1	1.11	.40	.93	-.27
PPo_4_2	1.15	.58	1.13	.63
PPo_4_3	1.10	.37	.97	-.08
PPo_4_4	1.00	.09	1.01	.13
PPo_5_1	.84	-.40	.69	-1.52
PPo_5_2	1.06	.41	1.04	.27
PPo_5_3	.99	.01	.99	.02
PPo_5_4	1.06	.28	1.04	.25
PPo_6_1	.91	-.48	.90	-.39
PPo_6_2	1.06	.35	1.03	.23
PPo_6_3	1.01	.11	.97	-.07
PPo_6_4	1.15	.69	1.10	.52
PPo_7_1	.91	-.29	.89	-.44
PPo_7_2	1.19	.99	1.15	.72
PPo_7_3	1.12	.43	1.01	.14
PPo_7_4	.87	-.37	.82	-.83
PPo_8_1	1.38	1.95	1.39	1.67
PPo_8_2	1.14	.65	1.09	.49
PPo_8_3	1.23	1.28	.20	.96
PPo_8_4	1.10	.64	1.10	.52
PPo_9_1	1.19	1.10	1.18	.87
PPo_9_2	.91	-.29	.91	-.34
PPo_9_3	.97	-.07	.97	-.08
PPo_9_4	.74	-.58	.85	-.65
PPo_10_1	.83	-.43	.77	-1.10
PPo_10_2	1.02	.16	1.02	.14
PPo_10_3	.95	-.27	.95	-.18
PPo_10_4	1.14	.56	1.17	.83
PPo_11_1	1.12	.45	.97	-.05
PPo_11_2	1.09	.35	1.07	.38
PPo_11_3	1.16	.90	1.15	.75
PPo_11_4	1.12	.47	1.00	.08
PPo_12_1	1.06	.28	1.08	.41
PPo_12_2	1.07	.46	1.06	.37
PPo_12_3	1.07	.46	1.06	.37
PPo_12_4	1.07	.46	1.06	.37
PPo_13_1	.91	-.22	.90	-.42
PPo_13_2	1.21	1.22	1.19	.92
PPo_13_3	1.11	.40	1.04	.28
PPo_13_4	1.15	.68	1.07	.39
PPo_14_1	1.07	.31	.96	-.09
PPo_14_3	1.09	.34	.90	-.40

PPo_14_4	1.08	.48	1.05	.31
PPo_15_1	.91	-.30	.91	-.34
PPo_15_2	1.13	.45	1.09	.46
PPo_15_3	1.12	.45	1.05	.31
PPo_15_4	1.12	.51	1.02	.19
PPo_16_1	.72	-1.13	.68	-1.62
PPo_16_2	.99	-.01	.98	.00
PPo_16_3	1.01	.11	.96	-.11
PPo_16_4	.99	.01	.99	.02
PPo_17_1	.72	1.05	.77	-1.11
PPo_17_2	.53	-1.02	.59	-2.15
PPo_17_3	.65	-.77	.63	-1.88
PPo_17_4	.53	-1.03	.59	-2.15
PPo_18_1	1.15	.69	1.08	.43
PPo_18_2	.92	-.20	.96	-.11
PPo_18_3	.91	-.25	.94	-.20
PPo_18_4	1.03	25.53	1.06	-3.82

14.4 Detaillierte Ergebnisse zur Forschungsfrage 1.2

Tabelle 14-9: Validierungsstudie - Deskriptive Statistik des Tests zur experimentellen Planungskompetenz

		Statistiken	
		Score_R_Summe _PPrä	Score_R_Summe _PPo
N	Gültig	38	38
	Fehlend	0	0
Mittelwert		71,1278	74,8872
Median		71,4286	75,7143
Modus		71,43	77,14 ^a
Std.-Abweichung		8,70652	7,09740
Minimum		51,43	60,00
Maximum		85,71	85,71

a. Mehrere Modi vorhanden. Der kleinste Wert wird angezeigt.

Tabelle 14-10: Validierungsstudie - Normalverteilung des Tests zur experimentellen Planungskompetenz

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Summe_PPo	,093	38	,200 [*]	,957	38	,154
R_Summe_PPo	,125	38	,142	,954	38	,125

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Tabelle 14-11: Validierungsstudie - T-Test des Tests zur experimentellen Planungskompetenz

Statistik bei gepaarten Stichproben					
		Mittelwert	N	Std.-Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paaren 1	Score_R_Summe_PPra	71,1278	38	8,70652	1,41238
	Score_R_Summe_PPo	74,8872	38	7,09740	1,15135

Test bei gepaarten Stichproben									
Gepaarte Differenzen									
					95% Konfidenzintervall der Differenz				
	Mittelwert	Std.-Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	Untere	Obere	T	df	Sig. (2-seitig)	

Paa- ren 1	Score_R_Su mme_PPrä - Score_R_Su mme_PPo	-3,75940	6,77770	1,09949	-5,98717	-1,53162	-3,419	37	,002
---------------	---	----------	---------	---------	----------	----------	--------	----	------

Tabelle 14-12: Validierungsstudie - Normalverteilung des Tests zum experimentell-fachdidaktischen Wissen

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Backes_Summe	,121	38	,175	,952	38	,107
Backes_R_Summe	,115	38	,200*	,952	38	,103

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.
a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Tabelle 14-13: Validierungsstudie - Reliabilität der Rohvalidierungsdaten des Tests zum experimentell-fachdidaktischen Wissen

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
Item1_Post_12	64,7500	89,128	,578	,769
Item1_Post_13	64,8553	89,090	,430	,770
Item1_Post_14	65,3553	94,266	-,208	,783
Item1_Post_23	65,0658	91,661	,074	,777
Item1_Post_24	64,8026	89,639	,406	,771
Item1_Post_34	64,9079	89,927	,294	,772
Item2_Post_12	65,3553	92,131	,031	,778
Item2_Post_13	65,2237	90,938	,150	,776
Item2_Post_14	64,6974	91,680	,204	,775
Item2_Post_23	65,4342	93,526	-,135	,781
Item2_Post_24	64,7237	92,979	-,083	,779
Item2_Post_34	64,7237	91,790	,144	,776
Item3_Post_12	64,7237	92,736	-,037	,778
Item3_Post_13	65,1974	90,450	,200	,774
Item3_Post_14	64,8289	94,271	-,237	,783
Item3_Post_23	64,8026	91,342	,161	,775
Item3_Post_24	65,3026	90,396	,218	,774
Item3_Post_34	64,9079	92,995	-,067	,780
Item4_Post_12	64,9605	92,664	-,030	,780
Item4_Post_13	65,1447	90,712	,171	,775
Item4_Post_14	65,0395	90,745	,172	,775

Item4_Post_23	64,9605	90,867	,170	,775
Item4_Post_24	64,7500	92,709	-,032	,778
Item4_Post_34	64,9079	90,833	,186	,775
Item5_Post_12	65,1184	88,313	,426	,769
Item5_Post_13	64,7763	90,614	,289	,773
Item5_Post_14	65,2500	92,993	-,065	,781
Item5_Post_23	64,9079	95,211	-,321	,785
Item5_Post_24	65,1711	89,892	,257	,773
Item5_Post_34	64,8026	93,936	-,203	,782
Item6_Post_Pkt	64,5921	88,224	,177	,777
Item7_Post_12	64,9868	94,111	-,185	,783
Item7_Post_13	64,9342	88,377	,466	,768
Item7_Post_14	65,0658	88,999	,357	,770
Item7_Post_23	64,8289	89,473	,402	,771
Item7_Post_24	64,7763	91,614	,135	,776
Item7_Post_34	65,1184	89,570	,291	,772
Item8_Post_12	64,8553	89,968	,316	,772
Item8_Post_13	65,1974	92,139	,023	,779
Item8_Post_14	64,9605	88,056	,491	,768
Item8_Post_23	64,9342	91,026	,157	,775
Item8_Post_24	65,4079	89,887	,311	,772
Item8_Post_34	65,0395	90,515	,197	,774
Item9_Post_12	64,9079	91,170	,146	,776
Item9_Post_13	65,1184	90,327	,211	,774
Item9_Post_14	64,9342	91,215	,136	,776
Item9_Post_23	64,7763	92,371	,020	,778
Item9_Post_24	65,4342	91,188	,159	,775
Item9_Post_34	64,7500	91,804	,120	,776
Item10_Post_12	65,0921	92,441	-,008	,779
Item10_Post_13	65,1184	89,259	,324	,771
Item10_Post_14	65,2237	91,601	,080	,777
Item10_Post_23	65,1711	94,419	-,209	,784
Item10_Post_24	65,2763	92,979	-,064	,781
Item10_Post_34	65,2763	94,952	-,270	,785
Item11_Post_12	65,0395	93,177	-,084	,781
Item11_Post_13	65,0132	91,057	,142	,776
Item11_Post_14	65,0658	91,945	,044	,778
Item11_Post_23	64,8553	91,360	,138	,776
Item11_Post_24	64,9079	89,278	,372	,771
Item11_Post_34	65,3026	91,058	,145	,776
Item12_Post_12	64,9342	90,985	,162	,775
Item12_Post_13	65,1184	89,773	,270	,773
Item12_Post_14	65,4868	92,882	-,056	,779

Item12_Post_23	65,1974	93,585	-,125	,782
Item12_Post_24	64,8026	90,571	,271	,773
Item12_Post_34	64,9342	90,796	,184	,775
Item13_Post_12	64,9342	91,742	,075	,777
Item13_Post_13	64,7237	91,020	,292	,774
Item13_Post_14	65,0395	90,015	,251	,773
Item13_Post_23	64,8816	90,448	,242	,774
Item13_Post_24	65,1447	92,995	-,065	,781
Item13_Post_34	64,7500	90,682	,310	,773
Item14_Post_12	64,7237	89,830	,524	,771
Item14_Post_13	64,7500	91,061	,246	,774
Item14_Post_14	64,9079	90,130	,270	,773
Item14_Post_23	65,2500	92,791	-,044	,780
Item14_Post_24	65,1711	91,879	,050	,778
Item14_Post_34	65,1711	89,838	,263	,773
Item15_Post_12	64,7237	90,898	,316	,773
Item15_Post_13	65,0658	92,039	,034	,778
Item15_Post_14	64,8289	90,406	,275	,773
Item15_Post_23	64,8289	90,446	,270	,773
Item15_Post_24	65,5395	93,475	-,159	,780
Item15_Post_34	64,9079	90,697	,202	,774
Item16_Post_12	64,8026	88,153	,624	,767
Item16_Post_13	65,0132	89,490	,312	,772
Item16_Post_14	64,8816	88,151	,529	,767
Item16_Post_23	65,0395	90,002	,252	,773
Item16_Post_24	65,4605	93,015	-,073	,780
Item16_Post_34	65,1974	89,842	,264	,773
Item17_Post_12	64,9605	89,556	,318	,772
Item17_Post_13	65,2763	86,749	,618	,764
Item17_Post_14	65,4079	92,238	,023	,778
Item17_Post_23	65,1184	88,030	,456	,768
Item17_Post_24	65,1184	89,219	,329	,771
Item17_Post_34	65,1447	87,928	,466	,768
Item18_Post_12	65,3289	90,703	,189	,775
Item18_Post_13	65,0921	92,265	,010	,779
Item18_Post_14	64,9868	90,179	,242	,773
Item18_Post_23	65,0921	90,157	,231	,774
Item18_Post_24	65,0395	89,353	,322	,771
Item18_Post_34	65,1974	90,855	,157	,775
Item19_Post_1P	65,4342	92,303	,172	,776
Item19_Post_2P	65,4934	92,556	,019	,777
Item19_Post_3P	65,4145	92,896	-,216	,778
Item19_Post_4P	65,4013	92,363	,323	,776

Item19_Post_5P	65,5000	92,203	,166	,776
Item19_Post_6P	65,4079	92,599	,013	,777
Item19_Post_7P	65,4276	92,138	,287	,776
Item19_Post_8P	65,4605	92,637	-,015	,777

Tabelle 14-14: Validierungsstudie - Reliabilität der Validierungsdaten des Tests zum experimentell-fachdidaktischen Wissen mit akzeptablen Trennschärfen

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
Item1_Post_12	34,7895	76,988	,544	,878
Item1_Post_13	34,8947	76,495	,469	,878
Item1_Post_24	34,8421	77,441	,381	,879
Item1_Post_34	34,9474	76,801	,390	,879
Item2_Post_14	34,7368	78,990	,252	,881
Item3_Post_13	35,2368	77,138	,301	,880
Item3_Post_23	34,8421	78,076	,282	,880
Item3_Post_24	35,3421	77,143	,317	,880
Item4_Post_23	35,0000	78,182	,198	,882
Item5_Post_12	35,1579	75,373	,504	,877
Item5_Post_13	34,8158	77,567	,393	,879
Item5_Post_24	35,2105	77,691	,236	,881
Item6_Post_Pkt	34,6316	74,854	,238	,886
Item7_Post_13	34,9737	76,290	,442	,878
Item7_Post_14	35,1053	76,712	,353	,879
Item7_Post_23	34,8684	77,692	,319	,880
Item8_Post_12	34,8947	77,360	,347	,879
Item8_Post_14	35,0000	75,209	,566	,876
Item8_Post_24	35,4474	77,477	,315	,880
Item8_Post_34	35,0789	77,041	,318	,880
Item9_Post_13	35,1579	77,751	,229	,881
Item10_Post_13	35,1579	77,670	,238	,881
Item11_Post_24	34,9474	76,720	,401	,879
Item12_Post_12	34,9737	77,601	,277	,880
Item12_Post_13	35,1579	76,454	,378	,879
Item12_Post_24	34,8421	77,468	,376	,879
Item12_Post_34	34,9737	77,695	,265	,881
Item13_Post_13	34,7632	78,787	,246	,881
Item13_Post_14	35,0789	77,744	,236	,881
Item13_Post_23	34,9211	77,717	,283	,880
Item13_Post_34	34,7895	78,069	,343	,880
Item14_Post_12	34,7632	77,368	,543	,878

Item14_Post_13	34,7895	78,394	,284	,880
Item14_Post_14	34,9474	77,923	,245	,881
Item14_Post_34	35,2105	76,407	,383	,879
Item15_Post_12	34,7632	78,625	,279	,880
Item15_Post_14	34,8684	78,192	,246	,881
Item15_Post_23	34,8684	77,746	,311	,880
Item15_Post_34	34,9474	77,963	,240	,881
Item16_Post_12	34,8421	75,319	,717	,875
Item16_Post_13	35,0526	77,220	,302	,880
Item16_Post_14	34,9211	75,176	,628	,876
Item16_Post_23	35,0789	77,163	,304	,880
Item16_Post_34	35,2368	77,098	,305	,880
Item17_Post_13	35,3158	75,391	,521	,877
Item17_Post_23	35,1579	76,076	,422	,878
Item17_Post_24	35,1579	77,792	,225	,881
Item17_Post_34	35,1842	76,364	,388	,879
Item18_Post_14	35,0263	77,303	,298	,880
Item18_Post_24	35,0789	76,446	,388	,879
Item18_Post_34	35,2368	77,044	,311	,880
Item19_Post_1P	35,4737	79,638	,247	,881
Item19_Post_4P	35,4408	79,792	,358	,881
Item19_Post_5P	35,5395	79,458	,260	,881
Item19_Post_7P	35,4671	79,477	,372	,881

Tabelle 14-15: Validierungsstudie - Korrelation der Posttests des Tests zur experimentellen Planungskompetenz und des Tests zum experimentell-fachdidaktischen Wissen

Korrelationen			
		Score_R_Summe _PPo	Score_Ba- ckes_R_Summe
Score_R_Summe_PPo	Korrelation nach Pearson	1	,466**
	Signifikanz (2-seitig)		,003
	N	38	38
Score_Backes_R_Summe	Korrelation nach Pearson	,466**	1
	Signifikanz (2-seitig)	,003	
	N	38	38

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

14.5 Detaillierte Ergebnisse zur Forschungsfrage 2

Tabelle 14-16: Pilotierung I - Deskriptive Statistik

Statistiken			
		Score_R_Summe PPrä	Score_R_Summe PPo
N	Gültig	33	33
	Fehlend	0	0
Mittelwert		68,2228	74,7748
Median		67,5676	78,3784
Modus		62,16 ^a	78,38
Std.-Abweichung		9,72199	12,61663
Minimum		48,65	43,24
Maximum		83,78	97,30
a. Mehrere Modi vorhanden. Der kleinste Wert wird angezeigt.			

Tabelle 14-17: Pilotierung I - Normalverteilungstest

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Summe PPo	,135	33	,137	,971	33	,509
R_Summe_PPo	,165	33	,023	,951	33	,143
a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors						

Tabelle 14-18: Pilotierung I - T-Test

Statistik bei gepaarten Stichproben									
		Mittelwert	N	Std.-Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes				
Paaren 1	Score_R_Summe_PPra	68,2228	33	9,72199	1,69238				
	Score_R_Summe_PPo	74,7748	33	12,61663	2,19627				
Test bei gepaarten Stichproben									
Gepaarte Differenzen									
95% Konfidenzintervall der Differenz									
		Mittelwert	Std.-Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	Untere	Obere	T	df	Sig. (2-seitig)
Paaren 1	Score_R_Summe_PPra - Score_R_Summe_PPo	-6,55201	11,4670	1,99618	-10,61810	-2,48591	-3,282	32	,002

Tabelle 14-19: Pilotierung II - Deskriptive Statistik

Statistiken			
		Score_R_Summe PPrä	Score_R_Summe PPo
N	Gültig	24	24
	Fehlend	0	0
Mittelwert		69,6615	75,9115
Median		68,7500	78,1250
Modus		56,25 ^a	78,13
Std.-Abweichung		9,94547	18,18625
Minimum		56,25	25,00
Maximum		87,50	96,88
a. Mehrere Modi vorhanden. Der kleinste Wert wird angezeigt.			

Tabelle 14-20: Pilotierung II - Normalverteilungstest

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Summe PPo	,112	24	,200*	,948	24	,251
R Summe PPo	,204	24	,011	,841	24	,002
*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.						
a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors						

Tabelle 14-21: Pilotierung II - Wilcoxon-Test

Ränge				
		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Score_R_Summe_PPo - Score_R_Summe_PPrä	Negative Ränge	5 ^a	11,00	55,00
	Positive Ränge	16 ^b	11,00	176,00
	Bindungen	3 ^c		
	Gesamt	24		
a. Score_R_Summe_PPo < Score_R_Summe_PPrä				
b. Score_R_Summe_PPo > Score_R_Summe_PPrä				
c. Score_R_Summe_PPo = Score_R_Summe_PPrä				
Statistik für Test ^a				
		Score_R_Summe_PPo - Score_R_Summe_PPrä		
Z		-2,111 ^b		
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,035		
a. Wilcoxon-Test				
b. Basiert auf negativen Rängen.				

Tabelle 14-22: Pilotierung II - T-Test

Statistik bei gepaarten Stichproben									
		Mittelwert	N	Std.-Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes				
Paaren 1	Score_R_Summe_PPrä	69,6615	24	9,94547	2,03011				
	Score_R_Summe_PPo	75,9115	24	18,18625	3,71225				
Test bei gepaarten Stichproben									
Gepaarte Differenzen									
95% Konfidenzintervall der Differenz									
		Mittelwert	Std.-Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	Untere	Obere	T	df	Sig. (2-seitig)
Paaren 1	Score_R_Summe_PPrä - Score_R_Summe_PPo	-6,25000	15,69279	3,20328	-12,87648	,37648	-1,951	23	,063

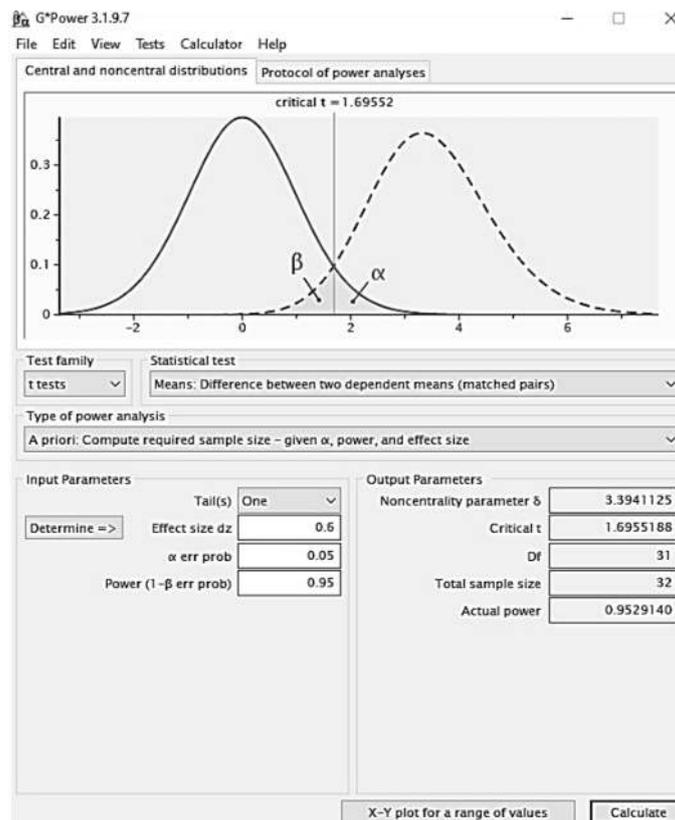


Abbildung 40: Ergebnis der Berechnung des Stichprobenumfangs mittels der Software G*Power

Tabelle 14-23: Hauptstudie - Deskriptive Statistik

		Statistiken	
		Score_R_Summe PPrä	Score_R_Summe PPo
N	Gültig	43	43
	Fehlend	0	0
Mittelwert		73,3555	78,6711
Median		71,4286	82,8571
Modus		68,57	82,86
Std.-Abweichung		10,70355	14,27685
Minimum		51,43	40,00
Maximum		94,29	100,00

Tabelle 14-24: Hauptstudie - Normalverteilungstest

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Summe_PPo	,147	43	,020	,940	43	,027
R_Summe_PPo	,132	43	,058	,910	43	,003

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Tabelle 14-25: Hauptstudie - Wilcoxon-Test

Ränge				
		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Score_R_Summe_PPo - Score_R_Summe_PPrä	Negative Ränge	10 ⁵	20,10	201,00
	Positive Ränge	31 ^b	21,29	660,00
	Bindungen	2 ^c		
	Gesamt	43		
a. Score_R_Summe_PPo < Score_R_Summe_PPrä				
b. Score_R_Summe_PPo > Score_R_Summe_PPrä				
c. Score_R_Summe_PPo = Score_R_Summe_PPrä				
Statistik für Test ^a				
		Score_R_Summe_PPo - Score_R_Summe_PPrä		
Z		-2,983 ^b		
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,003		
a. Wilcoxon-Test				
b. Basiert auf negativen Rängen.				

Tabelle 14-26: Hauptstudie - T-Test

Statistik bei gepaarten Stichproben

		Mittelwert	N	Std.-Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes				
Paaren 1	Score_R_Summe_PPrä	73,3555	43	10,70355	1,63228				
	Score_R_Summe_PPo	78,6711	43	14,27685	2,17720				
Test bei gepaarten Stichproben									
Gepaarte Differenzen									
95% Konfidenzintervall der Differenz									
		Mittelwert	Std.-Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	Untere	Obere	T	df	Sig. (2-seitig)
Paaren 1	Score_R_Summe_PPrä - Score_R_Summe_PPo	-5,31561	12,11512	1,84754	-9,04410	-1,58713	-2,877	42	,006

Tabelle 14-27: Follow-Up-Studie - Deskriptive Statistik

Statistiken				
		Score_R_Summe_PPrä	Score_R_Summe_PPo	Score_R_Summe_PPF
N	Gültig	15	15	15
	Fehlend	3	3	3
Mittelwert		71,2381	81,7143	80,3810
Median		71,4286	82,8571	80,0000
Modus		68,57	82,86 ^a	80,00
Std.-Abweichung		10,38426	11,91809	8,56235
Minimum		51,43	48,57	68,57
Maximum		85,71	100,00	97,14
a. Mehrere Modi vorhanden. Der kleinste Wert wird angezeigt.				

Tabelle 14-28: Follow-Up-Studie - Normalverteilungstest

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Summe_PPo	,162	15	,200*	,893	15	,076
R_Summe_PPo	,151	15	,200*	,892	15	,071
*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.						
a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors						

Tabelle 14-29: Hauptstudie - Mauchly-Test

Mauchly-Test auf Sphärität

Innersubjekt- effekt	Mauchly- W	Approx. Chi-Quad- rat	df	Sig.	Grenn- house- Geisser	Epsilon ^b Huynh- Feldt	Unter- grenze
Faktor1	,924	,955	2	,620	,929	1,000	,500

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.
a. Design: Konstanter Term
Innersubjekt-design: Messzeitpunkt
b. Kann zum Korrigieren der Freiheitsgrade für die gemittelten Signifikanztests verwendet werden. In der Tabelle mit den Tests der Effekte innerhalb der Subjekte werden korrigierte Tests angezeigt.

Tabelle 14-30: Hauptstudie - ANOVA mit Messwertwiederholung

Tests der Innersubjekteffekte							
Quelle		Quadrat- summe vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quad- rat
Faktor1	Sphärizität an- genommen	955,102	2	477,551	10,118	,001	,439
	Grennhouse- Geisser	955,102	1,858	514,067	10,118	,001	,439
	Huynh-Feldt	955,102	2,000	477,551	10,118	,001	,439
	Untergrenze	955,102	1,00	955,102	10,118	,001	,439
Fehler (Fak- tor1)	Sphärizität an- genommen	1227,211	26	47,200			
	Grennhouse- Geisser	1227,211	24,153	50,180			
	Huynh-Feldt	1227,211	26,000	47,200			
	Untergrenze	1227,211	13,000	94,401			
Tests der Innersubjekt- kontraste							
Quelle	Faktor1	Quadrat- summe vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quad- rat
Faktor1	Linear	671,720	1	671,720	11,176	,005	,462
	Quadratisch	283,382	1	283,382	8,262	,013	,389
Fehler (Fak- tor1)	Linear	781,341	13	60,103			
	Quadratisch	445,870	13	34,298			
Tests der Zwischensubjekteffekte							
Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quad- rat
Konstanter Term		251267,055	1	251267,055	1048,998	,000	,988
Fehler		3113,897	13	239,531			

Tabelle 14-31: Hauptstudie - Bonferroni korrigierter post-hoc Test

Schätzer				
Faktor1	Mittelwert	Standard Fehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
1	70,612	2,801	64,562	76,662
2	81,020	3,220	74,063	87,978
3	80,408	2,375	75,278	85,538
Paarweise Vergleiche				
Maß: MEASURE_1				

(I)Faktor1	(J)Faktor1	Mittlere Differenz (I-J)	Standard Fehler	Sig. ^b	95% Konfidenzintervall für die Differenz ^b	
					Untergrenze	Obergrenze
1	2	-10,408*	2,463	,003	-17,171	-3,646
	3	-9,796*	2,930	,016	-17,842	-1,750
2	1	10,480*	2,463	,003	3,646	17,171
	3	,612	2,362	1,000	-5,873	7,097
3	1	9,796*	2,930	,016	1,750	17,842
	2	-,612	2,362	1,000	-7,097	5,873
Basiert auf den geschätzten Randmitteln						
*. Die mittlere Differenz ist auf dem ,05-Niveau signifikant.						
b. Anpassung für Mehrfachvergleiche: Bonferroni.						

14.6 Detaillierte Ergebnisse zur Forschungsfrage 3

Tabelle 14-32: Präpilottierung - Reliabilitätsanalyse des Fragebogens zur Zufriedenheit

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
AF1	72,8182	41,564	,546	,921
AF2	72,8182	40,964	,651	,918
AF3	72,9091	42,491	,354	,925
AF4	73,0000	39,600	,791	,915
AF5	72,9091	41,691	,480	,922
AF6	73,3636	36,055	,606	,926
AF7	73,0000	41,600	,475	,922
AF8	73,0909	40,091	,712	,917
AF9	73,1818	38,164	,775	,914
AF10	73,1818	43,164	,250	,927
AF11	73,0909	41,091	,554	,920
AF13	72,8182	39,964	,828	,915
AF14	73,0000	37,800	,804	,913
AF15	73,0909	37,491	,844	,912
AF16	72,7273	41,018	,751	,917
AF17	72,9091	38,291	,758	,915
AF18	72,8182	40,964	,651	,918

Tabelle 14-33: Präpilottierung - Reliabilitätsanalyse des Fragebogens zum subjektiven Lernerfolg

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
QF1	17,4545	4,073	,601	,875
QF2	17,4545	4,273	,785	,834
QF3	17,3636	3,655	,775	,829
QF4	17,5455	4,673	,630	,866
QF5	17,4545	3,673	,788	,825

Tabelle 14-34: Präpiloting - Reliabilitätsanalyse des Fragebogens zur Motivation

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
EF1	26,3636	7,655	,162	,869
EF2	26,7273	6,018	,815	,787
EF3	27,0909	4,891	,817	,776
EF4	26,6364	6,255	,675	,806
EF5	26,7273	6,018	,550	,827
EF6	26,4545	6,673	,523	,827
EF7	26,5455	6,273	,667	,807

Tabelle 14-35: Präpiloting - Normalverteilungstest der Daten der Fragebögen zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Mean_AF	,147	11	,200*	,922	11	,337
R_Mean_AF	,188	11	,200*	,911	11	,253
Mean_QF	,175	11	,200*	,923	11	,342
Mean_EF	,185	11	,200*	,904	11	,206
*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.						
a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors						

Tabelle 14-36: Präpiloting - Deskriptive Statistik der Fragebögen zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation

Statistiken				
		R_Mean_AF	Mean_QF	Mean_EF
N	Gültig	11	11	11
	Fehlend	0	0	0
Mittelwert		4,5615	4,3636	4,4416
Median		4,7059	4,2000	4,4286
Modus		4,71 ^a	4,20	5,00
Std.-Abweichung		,39492	,49653	,41134
Minimum		3,71	3,40	3,86
Maximum		5,00	5,00	5,00
a. Mehrere Modi vorhanden. Der kleinste Wert wird angezeigt.				

Tabelle 14-37: Pilotierung I - Reliabilitätsanalyse des Fragebogens zur Zufriedenheit

Item-Skala-Statistiken

	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
AF1	73,0741	30,071	,714	,873
AF2	73,0000	32,077	,498	,881
AF3	73,1481	29,900	,702	,873
AF4	73,2222	30,026	,655	,874
AF5	73,5926	31,405	,369	,886
AF6	74,0741	30,379	,307	,897
AF7	73,0741	32,148	,418	,883
AF8	73,0741	31,610	,529	,880
AF10	73,8148	31,695	,222	,897
AF11	73,1111	32,564	,260	,888
AF12	72,9630	32,037	,560	,880
AF13	73,1481	29,131	,839	,868
AF14	73,2593	29,507	,737	,871
AF15	73,2963	29,370	,757	,870
AF16	73,0000	31,538	,623	,878
AF17	73,1481	29,593	,665	,874
AF18	73,0370	29,652	,712	,872

Tabelle 14-38: Pilotierung I - Reliabilitätsanalyse des Fragebogens zum subjektiven Lernerfolg

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
QF1	17,6667	4,000	,562	,813
QF2	17,0370	4,191	,698	,773
QF3	17,2593	3,892	,775	,748
QF4	17,0741	4,379	,601	,798
QF5	17,3333	4,154	,521	,824

Tabelle 14-39: Pilotierung I - Reliabilitätsanalyse des Fragebogens zur Motivation

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
EF1	25,4444	6,795	,276	,582
EF2	25,4074	6,020	,367	,550
EF3	25,5556	5,026	,515	,483
EF4	25,8889	6,026	,382	,546

EF5	25,6296	5,473	,409	,532
EF6	25,5926	7,405	,009	,660
EF7	25,3704	6,704	,297	,576

Tabelle 14-40: Pilotierung I - Normalverteilungstest der Daten der Fragebögen zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Mean_AF	,237	27	,000	,862	27	,002
R_Mean_AF	,238	27	,000	,861	27	,002
Mean_QF	,130	27	,200*	,938	27	,108
Mean_EF	,111	27	,200*	,961	27	,383

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Tabelle 14-41: Pilotierung I - Deskriptive Statistik der Fragebögen zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation

Statistiken				
		R Mean AF	Mean QF	Mean EF
N	Gültig	27	27	27
	Fehlend	0	0	0
Mittelwert		4,5773	4,3185	4,2593
Median		4,7059	4,4000	4,2857
Modus		4,71	4,40	4,00 ^a
Std.-Abweichung		,34533	,49694	,40219
Minimum		3,53	3,00	3,57
Maximum		5,00	5,00	5,00

a. Mehrere Modi vorhanden. Der kleinste Wert wird angezeigt.

Tabelle 14-42: Pilotierung II - Reliabilitätsanalyse des Fragebogens zur Zufriedenheit

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
AF1	69,5333	47,695	,762	,863
AF2	69,1333	53,552	,253	,880
AF3	69,2000	51,029	,462	,874
AF4	69,2667	49,352	,344	,883
AF5	69,4667	47,552	,754	,863
AF6	70,2000	46,743	,536	,873

AF7	69,2667	54,067	,167	,882
AF8	69,2667	53,781	,150	,884
AF9	69,9333	48,638	,539	,871
AF10	69,8000	46,029	,632	,867
AF11	69,2000	51,886	,364	,877
AF12	69,1333	51,695	,325	,879
AF14	69,6667	46,667	,825	,859
AF15	69,8667	45,838	,622	,868
AF16	69,0000	51,857	,599	,872
AF17	69,4000	49,257	,855	,864
AF18	69,4667	47,981	,846	,861

Tabelle 14-43: Pilotierung II - Reliabilitätsanalyse des Fragebogens zum subjektiven Lernerfolg

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
QF1	17,0870	2,356	,651	,403
QF2	16,5652	3,711	,308	,611
QF3	16,7826	2,814	,524	,496
QF4	16,4348	4,802	-,154	,756
QF5	16,7826	2,814	,611	,453

Tabelle 14-44: Pilotierung II - Reliabilitätsanalyse des Fragebogens zur Motivation

Item-Skala-Statistiken				
	Skalenmittelwert, wenn Item wegge- lassen	Skalenvarianz, wenn Item wegge- lassen	Korrigierte Item- Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
EF1	25,0455	9,474	,561	,778
EF2	25,0455	8,617	,700	,749
EF3	25,1364	10,123	,607	,774
EF4	25,3182	9,084	,576	,775
EF5	25,0000	10,857	,337	,813
EF6	25,1364	9,933	,442	,800
EF7	24,6818	10,132	,623	,772

Tabelle 14-45: Pilotierung II - Normalverteilungstest der Daten der Fragebögen zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation

Tests auf Normalverteilung		
	Kolmogorov-Smirnov ^a	Shapiro-Wilk

	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Mean_AF	,162	23	,118	,939	23	,173
R_Mean_AF	,188	23	,034	,925	23	,087
Mean_QF	,178	23	,057	,943	23	,206
Mean_EF	,153	23	,177	,961	23	,479
a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors						

Tabelle 14-46: Pilotierung II - Deskriptive Statistik der Fragebögen zur Zufriedenheit, zum subjektiven Lernerfolg und zur Motivation

Statistiken				
		R_Mean_AF	Mean_QF	Mean_EF
N	Gültig	23	23	23
	Fehlend	0	0	0
Mittelwert		4,3254	4,1826	4,1677
Median		4,3750	4,2000	4,0000
Modus		4,00	4,40	4,00
Std.-Abweichung		,39158	,43448	,50167
Minimum		3,71	3,20	3,14
Maximum		4,94	5,00	5,00

Tabelle 14-47: Pilotierung I - Ergebnisse der Korrelation der Bewertungsaspekte mit den residualen Lernzuwächsen

Korrelationen					
		Standardized Residual	R_Mean_AF	Mean_QF	Mean_EF
Standardized Residual	Korrelation nach Pearson	1	-,155	-,078	,102
	Signifikanz (2-seitig)		,441	,700	,613
	N	33	27	27	27
**. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.					
*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.					

Tabelle 14-48: Pilotierung II - Ergebnisse der Korrelation der Bewertungsaspekte mit den residualen Lernzuwächsen

Korrelationen					
		Standardized Residual	R_Mean_AF	Mean_QF	Mean_EF
Standardized Residual	Korrelation nach Pearson	1	,028	,019	,030

	Signifikanz (2-seitig)		,898	,931	,894
	N	24	23	23	23
**. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.					
*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.					

Tabelle 14-49: Prozentuale Häufigkeiten zur Anwendung der Fortbildungsinhalte

A20					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Pro- zente
Gültig	1,00	7	50,0	50,0	50,0
	2,00	7	50,0	50,0	100,0
	Gesamt	14	100,0	100,0	

Tabelle 14-50: Prozentuale Häufigkeiten zum Einsatz der Beispielexperimente

A21					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Pro- zente
Gültig	1,00	5	35,7	35,7	35,7
	2,00	9	64,3	64,3	100,0
	Gesamt	14	100,0	100,0	

Danksagung

Lieber Oli,
ich danke dir für die herzliche Aufnahme in die Arbeitsgruppe sowie deine Betreuung und Unterstützung während der Promotion. Die zahlreichen Gespräche auf intellektueller und persönlicher Ebene werden mir stets in Erinnerung bleiben.

Danke an Arne Dittmer für die hilfsbereite und wissenschaftliche Betreuung als Zweitgutachter.

Danke an den Drittprüfer Stefan Krauss sowie Pierre Koch für den Vorsitz des Promotionskolloquiums.

Vielen lieben Dank an meine Kolleginnen und Kollegen für die wundervolle gemeinsame Zeit:

Ralf Auer, Josef Baumann, Nadine Boele, Michael Elmer, Tina Kobl, Tobias Mayr, Stefanie Reimer, Sebastian Rohr, Katharina Schlagheck, Sandra Schmid, Florian Seiler und Victoria Telser

Ein großer Dank geht auch an:

Matthias Fischer, Karin Linoh und Dagmar Ludt

Des Weiteren gilt mein Dank allen Lehrkräften und Studierenden, die an der Studie teilgenommen haben.

Mein ganz besonderer Dank aber gilt meinen Eltern, Ulrike und Andreas, sowie meinem Bruder, Markus.

Liebe Ulla, von ganzem Herzen danke ich dir für deine uneingeschränkte Unterstützung, dein Zuhören und dein Aufmuntern. Danke, dass du jeden Tag an meiner Seite bist.

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 Haerberlen: 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 Metakzepten 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: Physiklehrvorstellungen zum Experiment im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-0576-9 40.50 EUR
- 35 Dimitrios Stavrou: Das Zusammenspiel von Zufall und Gesetzmäßigkeiten in der nicht-linearen 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 Lehrerrepräsentation 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 quasixperimentelle 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 Maiseyenko: 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: Lese Geschichten 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 Finkenbergr: 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 Videovignetten-tests 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.

Studien zum Physik- und Chemielernen

Herausgegeben von Martin Hopf, Hans Niedderer, Mathias Ropohl und Elke Sumfleth

Die Reihe umfasst inzwischen eine große Zahl von wissenschaftlichen Arbeiten aus vielen Arbeitsgruppen der Physik- und Chemiedidaktik und zeichnet damit ein gültiges Bild der empirischen physik- und chemiedidaktischen Forschung im deutschsprachigen Raum.

Die Herausgeber laden daher Interessenten zu neuen Beiträgen ein und bitten sie, sich im Bedarfsfall an den Logos-Verlag oder an ein Mitglied des Herausgeberteams zu wenden.

Kontaktadressen:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf
Universität Wien,
Österreichisches Kompetenzzentrum
für Didaktik der Physik,
Porzellangasse 4, Stiege 2,
1090 Wien, Österreich,
Tel. +43-1-4277-60330,
e-mail: martin.hopf@univie.ac.at

Prof. Dr. Hans Niedderer
Inst. f. Didaktik der Naturwissenschaften,
Abt. Physikdidaktik,
FB Physik/ Elektrotechnik,
Universität Bremen,
Postfach 33 04 40, 28334 Bremen
Tel. 0421-218 4695 (Sekretariat),
e-mail: niedderer@physik.uni-bremen.de

Prof. Dr. Mathias Ropohl
Didaktik der Chemie,
Fakultät für Chemie,
Universität Duisburg-Essen,
Schützenbahn 70, 45127 Essen,
Tel. 0201-183 2704,
e-mail: mathias.ropohl@uni-due.de

Prof. Dr. Elke Sumfleth
Didaktik der Chemie,
Fakultät für Chemie,
Universität Duisburg-Essen,
Schützenbahn 70, 45127 Essen
Tel. 0201-183 3757/3761,
e-mail: elke.sumfleth@uni-due.de

Das selbstgesteuerte Experimentieren ist laut den nationalen Bildungsstandards sowie den Lehrplänen im Fach Chemie ein wichtiger Bestandteil der naturwissenschaftlichen Schulbildung. Offene Experimentierformen sind jedoch wenig etabliert. Um das selbstgesteuerte Experimentieren in die Unterrichtspraxis zu implementieren, wurde im Rahmen dieses Forschungsprojekts eine eintägige Lehrkräftefortbildung zur Konzeption von selbstgesteuerten Experimenten im Chemieunterricht durchgeführt. Dazu wurde ein literaturbasiertes Strukturierungskonzept entwickelt, mit dem die Lehrkräfte kochbuchartige Schulversuche zu selbstgesteuerten und kompetenzorientierten Experimenten mit beliebigen Öffnungsgraden modifizieren können.

Begleitend zur Fortbildung wurde im Prä-Post-Follow-Up-Design das fachdidaktische Wissen der Teilnehmenden hinsichtlich der Planung von selbstgesteuerten Experimenten empirisch überprüft. Zur Erfassung dieses Konstrukts wurde ein neues Messinstrument literaturbasiert entwickelt und die Güte des Messinstruments evaluiert. Die Auswertungen zeigen, dass die Fortbildung hinsichtlich des fachdidaktischen Wissens der Lehrkräfte kurz- sowie langfristig lernförderlich ist und die Fortbildung von den Teilnehmenden positiv bewertet wird. Die Reliabilitätsanalyse sowie die Validierungsstudie zeigen, dass der Test sowohl reliabel als auch valide ist. In Folgestudien könnte die langfristige Verhaltensänderung der Lehrkräfte bezüglich der Implementierung des selbstgesteuerten Experimentierens in den Unterricht untersucht werden.

Logos Verlag Berlin

ISBN 978-3-8325-5393-7