

Studien zum Physik- und Chemielernen

M. Hopf und M. Ropohl [Hrsg.]

367

Dennis Kirstein

**Individuelle Bedingungs- und
Risikofaktoren für erfolgreiche
Lernprozesse mit kooperativen
Experimentieraufgaben
im Chemieunterricht**



λογος

Studien zum Physik- und Chemielernen

Band 367

Dennis Kirstein

**Individuelle Bedingungs- und
Risikofaktoren für erfolgreiche
Lernprozesse mit kooperativen
Experimentieraufgaben
im Chemieunterricht**

Eine Untersuchung zum Zusammenhang
von Lernvoraussetzungen, Lerntätigkeiten,
Schwierigkeiten und Lernerfolg beim Experimentieren
in Kleingruppen der Sekundarstufe I

Logos Verlag Berlin



Studien zum Physik- und Chemielernen

Martin Hopf und Mathias Ropohl [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.

Logos Verlag Berlin GmbH 2023

ISBN 978-3-8325-5729-4

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>

**INDIVIDUELLE BEDINGUNGS- UND RISIKOFAKTOREN
FÜR ERFOLGREICHE LERNPROZESSE
MIT KOOPERATIVEN EXPERIMENTIERAUFGABEN
IM CHEMIEUNTERRICHT**

EINE UNTERSUCHUNG ZUM ZUSAMMENHANG VON
LERNVORAUSSETZUNGEN, LERNTÄTIGKEITEN, SCHWIERIGKEITEN UND LERNERFOLG
BEIM EXPERIMENTIEREN IN KLEINGRUPPEN DER SEKUNDARSTUFE I

Dissertation

*zur Erlangung des Doktorgrades
in den Naturwissenschaften
- Dr. rer. nat. -*

vorgelegt der Fakultät für Chemie
an der Universität Duisburg-Essen

von

Dennis Kirstein

geboren in Werne an der Lippe

2023

Die vorliegende Arbeit wurde im Zeitraum von Oktober 2016 bis Juli 2023 im Arbeitskreis von Prof. Dr. Maik Walpuski im Fachbereich für Didaktik der Chemie an der Universität Duisburg-Essen angefertigt.

Erstgutachter: Prof. Dr. Maik Walpuski

Zweitgutachterin: Prof. Dr. Insa Melle

Prüfungsvorsitzender: Prof. Dr. Christian Mayer

Tag der Disputation: 24. August 2023

*Persönlichkeiten werden nicht durch schöne Reden geformt,
sondern durch Arbeit und eigene Leistung.*

(Albert Einstein)

Danksagung

Mein besonderer Dank geht an Herrn Prof. Dr. Maik Walpuski für die Möglichkeit, mich mit dem spannenden Thema meiner Arbeit auseinandersetzen zu dürfen und für die konstruktive Unterstützung während der gesamten Zeit.

Ganz herzlich möchte ich auch Frau Prof. Dr. Insa Melle für die Übernahme des Zweitgutachtens sowie die konstruktiven Anmerkungen und Anregungen insbesondere zu Beginn der Arbeit auf unterschiedlichen Tagungen danken.

Herrn Prof. Dr. Christian Mayer danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Ganz besonders möchte ich den Schülerinnen und Schülern sowie Lehrerinnen und Lehrern danken, die mit ihrer Teilnahme wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Ohne euren Mut und euer Vertrauen wäre diese Arbeit und unsere Forschung im Allgemeinen nicht möglich. Ich bin euch dafür sehr dankbar.

Ein ebenfalls besonderer Dank geht an Katrin Falchi, Janina Schmidt, Christoph Pelka, Hermann Vielhauer und Tessa de Kock für eure Hilfsbereitschaft und Unterstützung bei allen möglichen Fragen und Problemen.

Was wäre eine aufregende Promotionszeit ohne Kolleginnen und Kollegen, die einen durch viele schöne Gespräche, ein offenes Ohr, kritische Diskussionen und lustige Momente vor allem mental während des gesamten Prozesses unterstützt haben. Ich bin mir sicher, dass diese Personen genau wissen, dass sie gemeint sind, daher verzichte ich hier auf eine lange Auflistung an Namen und belasse es bei der direkten Ansprache: Ich danke DIR! Hervorheben möchte ich an dieser Stelle Martin Steinbach, Simon Kaulhausen und Fabien Güth, die mir über die letzten Jahre zu guten Freunden geworden sind. Die gemeinsame Zeit im Büro und auch außerhalb war eine wirkliche Bereicherung.

Zudem möchte ich mich bei meinen studentischen Hilfskräften Eda Budak und Micha Tekotte bedanken, die mich tatkräftig und mit viel Geduld und Sorgfalt bei der Auswertung der Videodaten unterstützt haben.

Zuletzt geht mein besonderer Dank an meinen Eltern Lothar und Kornelia, meinen Geschwistern Larissa und Kevin sowie meiner Oma Ingrid, die mich zu dieser Arbeit ermutigt haben und mich während des gesamten Prozesses begleitet und unterstützt haben. Ich bin froh, dass es euch gibt!

DANKE.

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung	5
Kurzfassung & Abstract.....	7

I THEORETISCHER RAHMEN

I.1 Lernen im kompetenzorientierten Chemieunterricht.....	9
I.1.1 Lernprozesse im Fach Chemie	9
Lernen aus psychologischer und fachdidaktischer Perspektive.....	9
Theorien und Modelle schulischen Lernens	10
Lernschwierigkeiten und erschwerte Lernsituationen	13
Bildungsziele und Kompetenzorientierung im Fach Chemie	15
I.1.2 Schülerorientiertes Experimentieren im Fach Chemie	18
Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben.....	19
Erkenntnisgewinnung und Lernaktivitäten beim eigenständigen Experimentieren.....	21
Schwierigkeiten und Fehler beim eigenständigen Experimentieren	25
I.2 Individualisierung von Lernprozessen im Chemieunterricht	29
I.2.1 Heterogenität als Diskurs im Fach Chemie	29
I.2.2 Bedingungen erfolgreichen Lernens im Fach Chemie	31
Lernerfolg und Unterrichtsqualität aus Perspektive des Chemieunterrichts	31
Individuelle Lernvoraussetzungen von Schülerinnen und Schülern	34
I.2.3 Differenzierung und Individuelle Förderung im Fach Chemie	36
Begriffliche Bestimmungen und grundlegende Prinzipien	37
Lernprozess- und Leistungsdiagnostik.....	39
Empirische Befunde zur Individualisierung von Lernprozessen.....	42
I.3 Ausgangslage zur Untersuchung	44

II DARSTELLUNG DER UNTERSUCHUNG

II.1 Zielsetzung der Untersuchung	47
II.2 Design und Struktur der Untersuchung.....	49
II.3 Beschreibung der eingesetzten Lernumgebungen.....	52
II.3.1 Lernumgebung zum Inhaltsfeld „Elektrische Energie aus chemischen Reaktionen“ .	52
Erste Experimentieraufgabe und Lernmaterial zum Thema „Batterien“.....	53
Zweite Experimentieraufgabe und Lernmaterial zum Thema „Batterien“	54
II.3.2 Lernumgebung zum Inhaltsfeld „Säuren, Laugen und Salze“	56
Erste Experimentieraufgabe und Lernmaterial zum Thema „Ozeanversauerung“.....	57
Zweite Experimentieraufgabe und Lernmaterial zum Thema „Ozeanversauerung“	58
II.3.3 Lernumgebung zum Inhaltsfeld „Luft und Wasser“	60
Erste Experimentieraufgabe und Lernmaterial zum Thema „Trinkwasser“	60
Zweite Experimentieraufgabe und Lernmaterial zum Thema „Trinkwasser“	62
II.4 Eingesetzte Instrumente und Verfahren der Datenerhebung	64
II.4.1 Lernprozessdiagnostik	64
II.4.2 Leistungsdiagnostik	65
II.5 Methodische Grundlagen der Datenauswertung	69
II.5.1 Qualitative Forschungsperspektive	70
Verfahren zur qualitativen Auswertung der Lernprozessdaten.....	70

Umsetzung, Evaluation und Optimierung der Lernprozessanalyse	73
Aufbereitung und Verarbeitung qualitativ erhobener Daten	73
II.5.2 Quantitative Forschungsperspektive	74
Datenskalierung und Messqualität	74
Analyse von empirischen Unterschieden.....	76
Analyse von empirischen Zusammenhängen.....	78
II.5.3 Qualitätsstandards in empirischen Untersuchungen.....	81

III VORSTUDIE

III.1 Ziele und spezifische Merkmale der Vorstudie	87
III.2 Stichprobe der Vorstudie	88
III.3 Ergebnisse der Vorstudie.....	89
III.3.1 Evaluation der eingesetzten Leistungstests	89
Test zu den kognitiven Grundfähigkeiten	89
Tests zum konzeptbezogenen Fachwissen in der Chemie	91
Test zum prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren	93
Fragebogen zum individuellen Fachinteresse	94
III.3.2 Evaluation der eingesetzten Lernumgebungen	95
III.3.3 Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens zur Lernprozessanalyse.....	98
Modellierung von Lerntätigkeiten beim Experimentieren.....	98
Erfassung auftretender Schwierigkeiten während der Experimentierphase	104
Anwendung und Evaluation des Verfahrens	107
III.4 Zusammenfassende Diskussion der Vorstudie	110
III.4.1 Zentrale Erkenntnisse der Vorstudie.....	110
III.4.2 Konsequenzen für die Hauptstudie.....	111

IV HAUPTSTUDIE

IV.1 Ziele und spezifische Merkmale der Hauptstudie.....	115
IV.2 Stichprobe der Hauptstudie	115
IV.3 Ergebnisse der Hauptstudie	117
IV.3.1 Qualität der eingesetzten Messverfahren.....	117
IV.3.2 Effektivität der eingesetzten Lernumgebungen	118
IV.3.3 Determinanten des individuellen Lernerfolgs	120
Leistungsbezogene Lernvoraussetzungen	121
Lerntätigkeiten im Experimentierprozess	123
Schwierigkeiten im Experimentierprozess.....	126
IV.3.4 Zusammenhänge zwischen Leistungs- und Prozessmerkmalen	130
Individuelle Lernvoraussetzungen und auftretende Schwierigkeiten.....	130
Individuelle Lernvoraussetzungen und individuelle Lernaktivitäten	138
Individuelle Lerntätigkeiten und auftretende Schwierigkeiten.....	143
Abhängigkeiten zwischen auftretenden Schwierigkeiten	149
IV.3.5 Vertiefende Analysen.....	154
Differenzielle Effekte in Bezug auf unterschiedliche Leistungsgruppen	154
Differenzielle Effekte in Bezug auf unterschiedliche Lerngegenstände	159
IV.4 Abschließende Diskussion der Hauptstudie	161
IV.4.1 Erläuterung und Einordnung zentraler Ergebnisse	162
IV.4.2 Qualitätsbezogene Diskussion aus methodologischer Perspektive	165

V ERKENNTNISSE DER UNTERSUCHUNG

<i>V.1 Zusammenfassung</i>	169
<i>V.2 Diskussion</i>	172
<i>V.3 Implikationen</i>	173

VI VERZEICHNISSE

<i>VI.1 Literaturverzeichnis</i>	179
<i>VI.2 Abbildungsverzeichnis</i>	197
<i>VI.3 Tabellenverzeichnis</i>	200
<i>VI.4 Formelverzeichnis</i>	203
<i>VI.5 Abkürzungsverzeichnis</i>	203

VII ANHANG

<i>VII.1 Lernmaterial</i>	205
<i>VII.2 Eingesetzte Testhefte</i>	216
<i>VII.3 Dokumente zur Datenerhebung</i>	242
<i>VII.4 Kodiermanuale</i>	248
<i>VII.5 Detailergebnisse</i>	257

VIII ZUR PERSON

<i>Lebenslauf</i>	283
<i>Präsentationen und Vorträge</i>	284
<i>Veröffentlichungen</i>	286

Einleitung

Dem Experimentieren kommt im Chemieunterricht für kompetenzorientiertes Lernen eine zentrale Bedeutung zu. Neben dem Erwerb konzeptbezogener Kompetenzen im Umgang mit Fachwissen sollen Schülerinnen und Schüler auch in der Entwicklung prozessbezogener Fähigkeiten und Fertigkeiten in Bezug auf naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen gefördert werden. Vor allem lernendenzentrierte und offene Formen des Experimentierens haben sich hier bewährt. Gleichzeitig bestimmen Forderungen nach einer individuellen Förderung von Schülerinnen und Schülern die Gestaltung von Lernprozessen im Fach Chemie. Das gilt umso mehr auch für die Gestaltung von Experimentierphasen. Besonders offene Formen des Experimentierens in kooperativer Lernprozessgestaltung bieten hier wichtige Voraussetzungen, damit Schülerinnen und Schüler hinsichtlich ihrer individuellen Lernvoraussetzungen optimal und adaptiv lernen. Kooperative Experimentieraufgaben vereinen wesentliche experimentierspezifische Qualitätsmerkmale mit dem Potential der Anschlussfähigkeit für eine individualisierte Gestaltung von Lernprozessen. Zentral dafür sind geeignete Unterstützungsangebote, die Schülerinnen und Schüler besonders bei Schwierigkeiten individuell und bedarfsorientiert genutzt werden können. Hierzu ist es zunächst notwendig, Schwierigkeiten und lernrelevante Lerntätigkeiten zu kennen, die beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben von Bedeutung sind und unabhängig von der inhaltlichen Ausrichtung einer Experimentieraufgabe auftreten. Gleichzeitig ist das Wissen über Zusammenhänge zwischen individuellen Lernvoraussetzungen, Bedingungs- und Risikofaktoren für erfolgreiches Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben grundlegend, um Unterstützungsmaßnahmen adaptiv für die individuellen Unterstützungsbedarfe zu entwickeln. An dieser Stelle setzt die vorliegende Arbeit an. Indem an bestehende Forschungsarbeiten angeknüpft wird und in einem Mixed-Methods-Ansatz Bedingungs- und Risikofaktoren für erfolgreiches Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben im Chemieunterricht der Sekundarstufe I herausgearbeitet und die Zusammenhänge zwischen Leistungs- und Prozessebene untersucht werden.

Kurzfassung & Abstract

Individuelle Förderung ist eine zentrale Herausforderung bei der Gestaltung von Lernprozessen. Dabei geht es insbesondere um eine optimale Passung zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler und dem Lernangebot. Da im Chemieunterricht das Experimentieren eine wichtige Rolle beim Erwerb chemiebezogener Kompetenzen einnimmt, ist vor allem in Experimentierphasen eine Individualisierung von Lernprozessen von Bedeutung. Welche Merkmale in Schülerexperimentierphasen als Ansatzpunkte für eine adaptive Lernprozessgestaltung genutzt werden können, ist bisher für das Fach Chemie nicht erforscht. In der vorliegenden Arbeit werden daher individuelle Lernvoraussetzungen mit Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten als lernbedeutsame Prozessmerkmale mit Hilfe qualitativer und quantitativer Forschungsmethoden in Beziehung gesetzt. Dazu werden Arbeitsphasen beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben in heterogenen Lerngruppen untersucht. Die Ergebnisse belegen, dass Leistungsmerkmale für den individuellen Lernerfolg genauso bedeutsam sind wie Prozessmerkmale. Dabei deuten die Ergebnisse vor allem auf die hohe Relevanz verfügbaren prozessbezogenen Wissens zum Experimentieren hin. Da sich Schwierigkeiten in ihrem Auftreten auch gegenseitig bedingen, können vor allem Schwierigkeiten als Ansatzpunkt für eine adaptive Lernprozessgestaltung herangezogen werden. Darüber hinaus weisen die Ergebnisse auf differentielle Effekte in der Bedeutsamkeit auftretender Schwierigkeiten in Abhängigkeit des individuellen Leistungspotentials von Schülerinnen und Schülern hin.

Individual support is a central challenge in the design of learning processes. In particular, this involves an optimal fit between students individual learning prerequisites and the learning material. Since experimentation plays an important role in gaining chemistry-related competencies in, individualization of learning processes is particularly important in experimentation phases. It has not yet been investigated which characteristics are important for adaptive learning process design in experimentation in chemistry.

Therefore, in the present work, we analyze the relation between individual learning prerequisites and charactersitic during experimentation such as lernaning activitis and occuring difficulties using qualitative and quantitative research methods. For this purpose, work phases in learning with inquiry-learning tasks in heterogeneous learning groups are investigated. The results show that performance

characteristics are just as important for individual learning success as process characteristics. In particular, the results indicate the high relevance of available process-related knowledge for experimentation. Since difficulties are also mutually dependent in their occurrence, difficulties in particular can be used as a starting point for adaptive learning process design. Furthermore, the results indicate differential effects in the significance of occurring difficulties depending on the individual performance potential of students.

I THEORETISCHER RAHMEN

I.1 Lernen im kompetenzorientierten Chemieunterricht

I.1.1 Lernprozesse im Fach Chemie

Sowohl für die Unterrichtspraxis als auch die fachdidaktische Forschung stellt die Auseinandersetzung mit Prozessen des Lernens eine zentrale Bezugsnorm dar: Lehrerinnen und Lehrer planen und reflektieren Lernarrangements, begleiten Schülerinnen und Schüler beim Lernen und beurteilen und bewerten die Ergebnisse schulischen Lernens. In einem engen Zusammenhang dazu untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unterschiedlicher Fachdisziplinen Lernprozesse von Schülerinnen und Schülern aus unterschiedlichen Perspektiven und liefern damit Erkenntnisse, die essentiell für die Entwicklung von Schule und Unterricht sind. Mit dem Anspruch die individuelle Entwicklung von Kindern und Jugendlichen bestmöglich zu fördern, gehen letztlich auch Ansprüche an empirisch abgesicherten und für die Praxis bedeutsamen Erkenntnissen zur Modellierung, Effektivität und Qualitätssicherung von Lernprozessen einher.

Lernen aus psychologischer und fachdidaktischer Perspektive

Das Kindes- und Jugendalter ist geprägt von vielfältigen und weitreichenden Entwicklungsprozessen. Neben neurologisch-körperlichen (vgl. Konrad & König, 2018) und sozio-emotionalen Veränderungen (vgl. Zimmermann, Podewski, Celik, & Iwanski, 2018) spielt insbesondere im Kontext von Schule und Unterricht die kognitive Entwicklung von Kindern und Jugendlichen eine wichtige Rolle (Greve & Thomsen, 2019; Lindberg & Hasselhorn, 2018; Hannover, Zander, & Wolter, 2014). Indem sich Schülerinnen und Schüler innerhalb des naturwissenschaftlichen Fachunterrichts mit verschiedenen Lerngegenständen auseinandersetzen, erweitern sie im Laufe der Schulzeit sukzessive ihre Fähigkeiten und Fertigkeiten (Giest, 1999). Dem zugrunde liegt wiederum ein Prozess, der für den Fachunterricht unerlässlich ist: Das Lernen. Allgemein kann Lernen als ein Prozess beschrieben werden, der zu einer „[...] Veränderung verhaltenssteuernder Strukturen durch individuelle Erfahrungen (Hoffmann & Engelkamp, 2016, S. 2)“ führt. Diese Veränderungen sind

langfristig angelegt und bewirken eine Erweiterung des eigenen Verhaltenspotentials (Kiesel & Koch, 2012). In Abgrenzung zu anderen Formen von Entwicklung, wie etwa der neurologisch-körperlichen Entwicklung, werden Lernprozesse immer durch individuelle Erfahrungen ausgelöst und bedingt (Hannover, Zander, & Wolter, 2014).

Um den Prozess des Lernens aus einer psychologischen Perspektive heraus für einen fachdidaktischen Diskurs zugänglich machen zu können, muss weiterführend geklärt werden, welche Strukturen im naturwissenschaftlichen Fachunterricht überhaupt verändert werden und wie sich solche Veränderung überhaupt vollziehen. Mit Blick auf individuelle Erfahrungen als notwendige Grundlage für das Lernen stellt sich zudem die Frage, welche Rolle Lernenden aber auch Lehrenden innerhalb des Lernprozesses zukommt. Im naturwissenschaftlichen Fachunterricht werden vorliegende Vorstellungen ergänzt, erweitert oder umstrukturiert (Steffensky & Neuhaus, 2018; Möller, 2013). Lehrende übernehmen dadurch stärker die Rolle des unterstützenden Lernbegleiters (Palinscar, 1998), sodass Lernen auch immer als sozialer Prozess verstanden muss (Siebert, 2005).

Mit Blick auf das Ziel von Lernprozessen lässt sich festhalten, dass beim Lernen Strukturen anhaltend und nachhaltig verändert werden (Wirth, 2019). Im Fachunterricht können diese Strukturen als die fundamentalen Prinzipien und Konzepte des jeweiligen Faches beschrieben werden und repräsentieren in ihrer Gesamtheit und Vernetztheit das fachspezifische Wissen (Wirth, 2019; Hoffmann, 2016). Dieses Wissen umfasst dabei neben dem Sachwissen auch Handlungswissen sowie metakognitives Wissen (De Jong & Ferguson-Hessler, 1996). Auch wenn damit geklärt ist, was gelernt wird, bleibt an dieser Stelle offen, wie der Erwerb von Wissen überhaupt abläuft.

Theorien und Modelle schulischen Lernens

Die Frage nach einer zufriedenstellenden Beschreibung und Erklärung von Lernprozessen hat in den letzten Jahrzehnten zur Entwicklung unterschiedlicher Lerntheorien innerhalb der Psychologie geführt. Darüber hinaus liefern Lerntheorien Informationen über eine effektive Gestaltung von Lernprozessen. In einem frühen Ansatz wird Lernen damit erklärt, dass auf einen Reiz bestimmte Reaktionen folgen, was ganz in der Tradition der behavioristischen Psychologie steht (vgl. u. a. Skinner, 1974). Lernen kann damit konkreter auch als Verstärkung dieser Reiz-Reaktions-Ketten aufgefasst werden (Kunath & Fürstenau, 2019; Klauer & Leutner, 2012). Dem Lehrenden obliegt gemäß der behavioristischen Lerntheorie das Setzen von geeigneten Reizen sowie der Verstärkung der Reiz-Reaktions-Ketten (Kunath &

Fürstenau, 2019). Im Zuge der kognitiven Wende (vgl. Dember, 1974) wurde diese Sichtweise zur Erklärung von Lernprozessen weitestgehend durch kognitiv-konstruktivistische Lerntheorien abgelöst (Klauer & Leutner, 2012). Wesentliche Kritikpunkte liegen in der Passivität der Lernenden sowie die begrenzte Anwendbarkeit auf kognitive Lernprozesse wie dem Erwerb von Wissen (Mayer, 2008). Diese Schwächen werden in der kognitiven Lerntheorie überwunden. Lernen wird hier als Erwerb von Wissen verstanden, zu dem der Lernende durch kognitive Prozesse, insbesondere die Aufnahme und Verarbeitung von Informationen, gelangt (Klauer & Leutner, 2012). Dazu müssen Lehrende geeignete Lerngelegenheiten schaffen. Auch wenn die Passivität der Lernenden in der kognitiven Lerntheorie überwunden zu sein scheint, bleibt die Individualität der Lernenden weitestgehend unberücksichtigt: Lernende nehmen ihre Umwelt unterschiedlich wahr und interpretieren damit Informationen stets vor dem Hintergrund ihrer individuellen Wahrnehmung, Erfahrungen und Voraussetzungen. Wissen kann daher nicht übertragen werden, sondern wird beim Lernen aktiv von jedem Lernenden individuell konstruiert (Siebert, 2005; Palinscar, 1998; Piaget, 1961). Insgesamt haben sich kognitiv-konstruktivistische Ansätze zur Erklärung von Lernprozessen in Bezug auf die kognitive Entwicklung von Kindern und Jugendlichen weitestgehend durchgesetzt (Klauer & Leutner, 2012; Seel & Hanke, 2010).

Ausgehend von einer theoretischen Fundierung des Lernprozesses, entwickelte Caroll (1963) ein Modell, in dem das schulische Lernen auf das Zusammenwirken verschiedener, lernrelevanter Faktoren zurückgeführt werden (vgl. Abbildung 1).

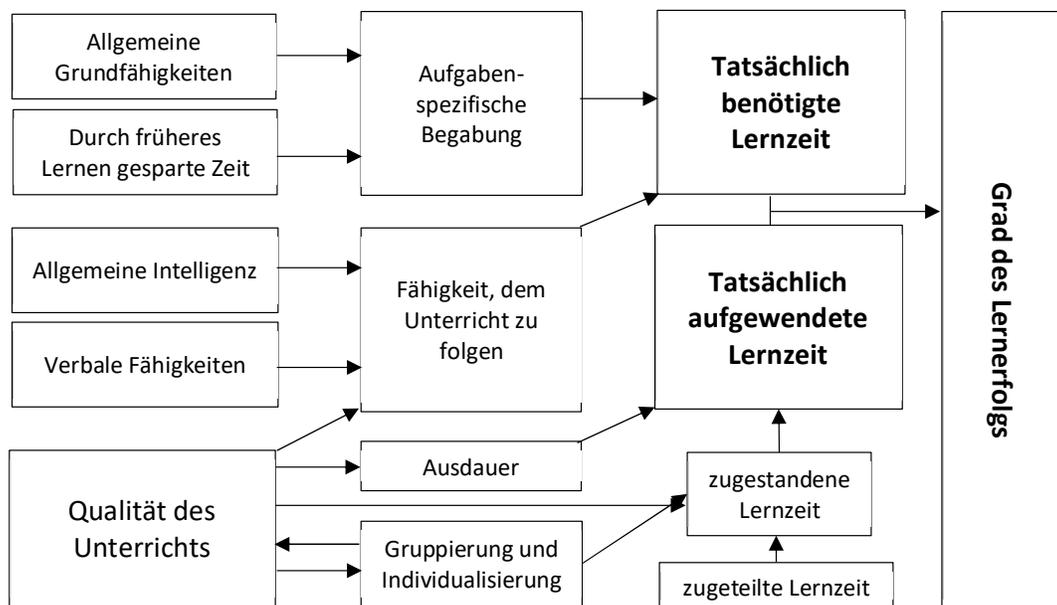


Abbildung 1: Modell schulischen Lernens nach Caroll (1963) verändert nach Gruehn (2000, S. 6)

Caroll (1963) führt Lernerfolg von Schülerinnen und Schülern im Wesentlichen auf die aktiv genutzte Lernzeit (tatsächlich benötigte und tatsächlich aufgewendete Lernzeit) zurück. Diese wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst.

Schülerinnen und Schüler beziehen sich beim Lernen auf ihre individuellen Lernvoraussetzungen (u.a. allgemeine Grundfähigkeiten, allgemeine Intelligenz, verbale Fähigkeiten), die das Lernpotential zur Auseinandersetzung mit dem Lernangebot (aufgabenspezifische Begabung und die Fähigkeit, dem Unterricht zu folgen) bestimmen. Darüber hinaus wird der Lernerfolg durch die Qualität des Unterrichts determiniert.

Das Modell schulischen Lernens nach Caroll (1963) bietet aus psychologischer Sicht eine erste umfassende Betrachtung des Lernens, die für weitere Modelle zum Lernen herangezogen worden ist. Auch wenn mit dem Modell Aussagen über Wirkungszusammenhänge zwischen verschiedenen lernrelevanten Faktoren getroffen werden können, sind Schlüsse auf den Prozess des Lernens nicht ohne weiteres möglich. Um Lernprozesse im Unterricht jedoch optimal gestalten und begleiten zu können, ist eine stärker auf den Prozess ausgerichtete Modellierung des Lernens notwendig. Klauer & Leutner (2012) entwickelten dazu ein Prozessmodell des Lernens, in dem Lernen als Prozess von Informationsverarbeitung modelliert wird (vgl. Abbildung 2).

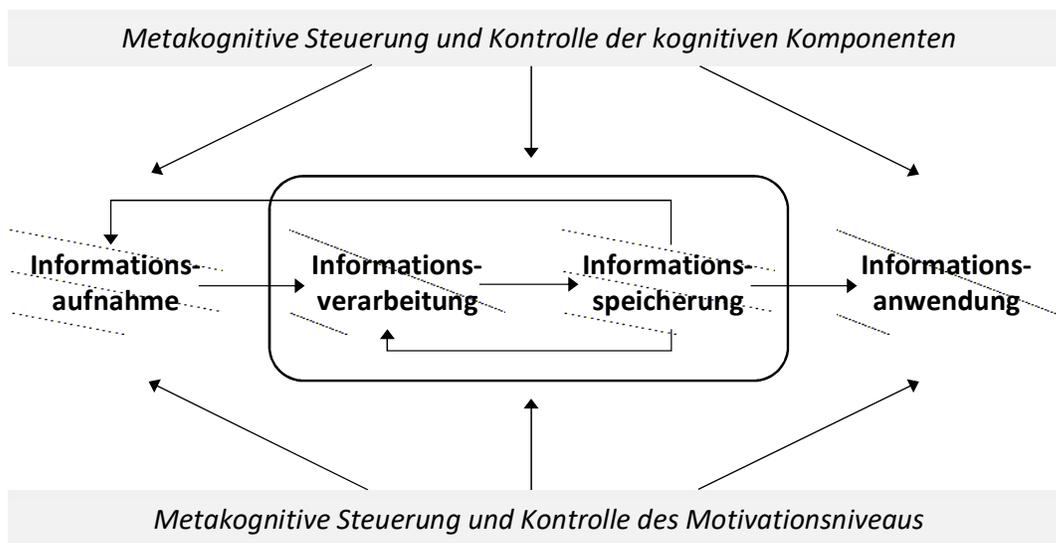


Abbildung 2: Prozessmodell des Lernens nach Klauer & Leutner (2012, S. 44)

Lernen beginnt dabei mit der Aufnahme von Informationen, die mit Hilfe mentaler Prozesse im Kurzzeitgedächtnis verarbeitet und im Langzeitgedächtnis gespeichert werden (Engelkamp, 2017; Klauer & Leutner, 2012). Diese Informationen können

dann in verschiedenen Anwendungssituationen abgerufen und angewendet werden. Wie Schülerinnen und Schüler Informationen wahrnehmen und letztlich aufnehmen wird dabei maßgeblich von bereits vorhandenen Erfahrungen bestimmt (Klauer & Leutner, 2012). Diese werden beim Lernen aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen und können bei der Aufnahme und Verarbeitung von Informationen genutzt werden.

Aktuell werden zunehmend auch Erkenntnisse aus den Neurowissenschaften zur Beschreibung und Erklärung von Lernprozessen herangezogen (vgl. u.a. Sieberer-Nagler, 2016). Inwieweit bisherige Annahmen zum Lernen dadurch bestätigt, erweitert oder gar revidiert werden, ist bisher noch nicht hinreichend geklärt (vgl. Schumacher, 2011; Roth, 2011), sodass weiterhin psychologische Lerntheorien den bildungswissenschaftlichen Diskurs prägen.

Mit einem Verständnis vom Lernen als erfahrungsbasierte Veränderung fachbezogener Fähigkeiten und Fertigkeiten stellt sich weiterführend die Frage nach der Bedeutung fachbezogener Lernprozesse. Besonders geht es darum, fachbezogene Lernprozesse mit den Aufgaben und Zielen schulischer Arbeit in Beziehung zu setzen. Dabei muss es vor allem um den Zusammenhang von Lernen und dem gehen, welchen gesellschaftlichen Aufgaben Schule als Institution zukommen (vgl. Fend, 2009). In den naturwissenschaftlichen Fächern hat das Aufkommen großer Schulleistungsstudien wie PISA und TIMSS zu deutlichen Veränderungen geführt, die sich insbesondere darauf beziehen, den Beitrag des naturwissenschaftlichen Unterrichts stärker bildungstheoretischer zu rekonstruieren und, damit verbunden, die Ziele der naturwissenschaftlichen Fächer näher zu bestimmen.

Lernschwierigkeiten und erschwerte Lernsituationen

Lernen liegt grundsätzlich eine Diskrepanz zwischen den vorhandenen Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler und den an den zu erwerbenden Kompetenzen orientierten Lernzielen zugrunde. An dieser Anforderungsschwelle kann es zu Problemen kommen, die sich unmittelbar auf die Qualität und den Erfolg des Lernprozesses auswirken können (Gold, 2018). Beziehen sich solche Schwierigkeiten direkt auf die Verfügbarkeit und Nutzung allgemeiner Lernstrategien, werden diese im sonderpädagogischen Diskurs als Lernschwierigkeiten aufgefasst (vgl. u. a. Heimlich, 2016; Leitner, Ortner & Ortner, 2008; Zielinski, 1996). Lernschwierigkeiten sind demnach „[...] besondere Schwierigkeiten in der Auseinandersetzung mit Lernanforderungen aller Art, die sich in minderen Schulleistungen [...] niederschlagen (Gold, 2018, S. 11)“. Im Rahmen naturwissenschaftsdidaktischer Forschung zu Schwierigkeiten in naturwissenschaftlichen Lernprozessen findet die oben

beschriebene sonderpädagogische Konzeptualisierung des Schwierigkeitsbegriffs Anwendung, indem Schwierigkeiten beim Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht als direkt beobachtbares Lernendenverhalten beschrieben werden, durch das „[...] ein für die erfolgreiche Bearbeitung einer Lernaufgabe erforderliches Teilziel nicht, in unbefriedigendem Maße oder nur mit großer Mühe erreicht wird (Kechel, 2016, S. 57)“. Damit lassen sich Schwierigkeiten von Schülerinnen und Schüler beim naturwissenschaftlichen Lernen als fachspezifische Ausprägungen allgemeiner Lernschwierigkeiten auffassen. Können zur Beurteilung von Schwierigkeiten zur Bearbeitung einer Lernaufgabe eindeutig umschriebene Normen, wie etwa die fachliche Richtigkeit eines übergeordneten Konzepts, herangezogen werden, spricht man von Fehlern (Oser & Psychiger, 2005). Beim Lernen können Fehler beim Erinnern und Abrufen von Informationen (Reproduktionsfehler), beim Verständnis wichtiger Konzepte (Verständnisfehler), bei der Anwendung von Informationen (Anwendungsfehler) sowie Fehler bei der Analyse, Evaluation und Kreation von Informationen (Fehler bei der Informationserzeugung) auftreten (Anderson & Krathwohl, 2003). Bei Schwierigkeiten und Fehlern handelt es sich also um konkrete Probleme, die zu einem erschwerten oder sogar fehlerhaften Lernprozess führen. Insgesamt kann ein Lernprozess durch ein breites Spektrum unterschiedlicher Schwierigkeiten und Fehler beeinflusst werden (Helbig, 2005).

Als Bedingungsfaktoren für das Auftreten von Lernschwierigkeiten lassen sich im Wesentlichen endogene und exogene Faktoren unterscheiden (vgl. Abbildung 3), die in einem komplexen Zusammenhang zueinanderstehen (Gold, 2018; Heimlich, 2016).

Endogene Bedingungsfaktoren beziehen sich dabei auf die verfügbaren Lernvoraussetzungen von Schülerinnen und Schülern in unterschiedlichen Bereichen. Neben besonderen Voraussetzungen im somatischen (u. a. Funktionalität von Hirnfunktionen) und sensomotorischen (u. a. Ausprägung feinmotorischer Fertigkeiten) Bereich, weisen Heimlich (2016) und Leitner et al. (2008) vor allem auch auf emotionale (u. a. Umgang mit Misserfolgen), soziale (u. a. Umgang mit anderen Lernenden) und kognitive Bedingungsfaktoren für das Auftreten von Lernschwierigkeiten hin. Für Lernprozesse im naturwissenschaftlichen Unterricht können besonders endogene Bedingungsfaktoren des kognitiven Bereichs wie bereits entwickelte Schülervorstellungen sowie Wissen über naturwissenschaftliche Konzepte und naturwissenschaftliches Denken und Arbeiten von Bedeutung sein.

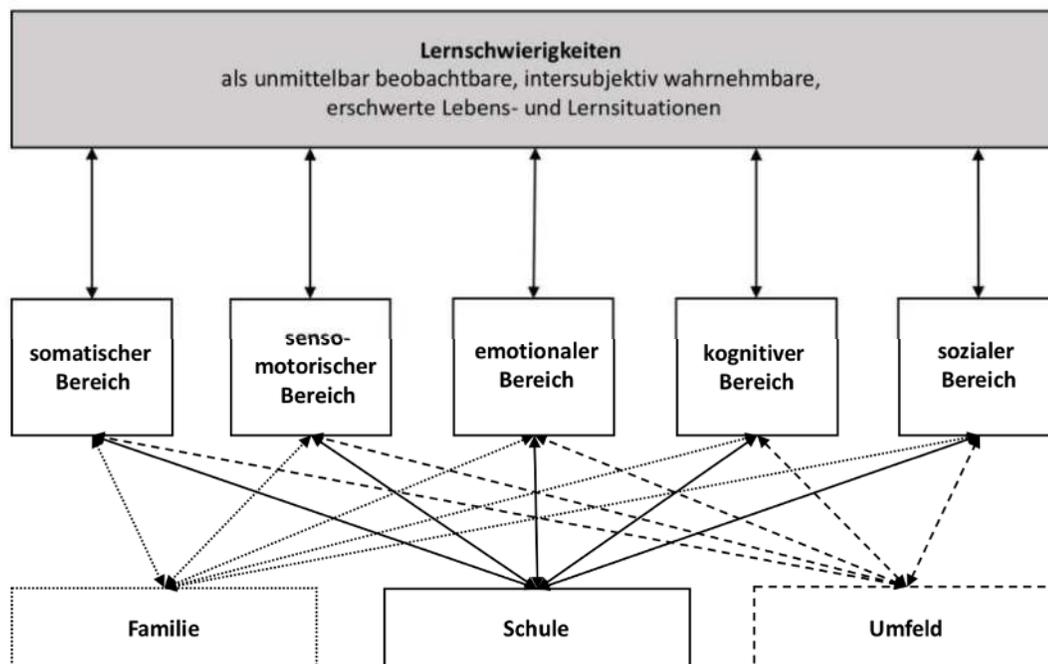


Abbildung 3: Bedingungsfaktoren von Lernschwierigkeiten (verändert nach Heimlich (2016), S. 37)

Darüber hinaus stehen endogene Bedingungsfaktoren in einem starken Zusammenhang mit exogenen Bedingungsfaktoren, die im Wesentlichen das Lern- und Entwicklungsumfeld der Lernenden umfassen (Leitner et al., 2008). Im naturwissenschaftlichen Unterricht besteht unmittelbar Bezug zum zur Verfügung gestellten Lernangebot. Hier können durch eine ungünstige und nicht zu den Lernvoraussetzungen der Lernenden passende Gestaltung von Lernumgebungen Lernprozesse beeinträchtigt werden. An dieser Stelle hat sich zur Gestaltung barrierefreier Lernumgebungen das Universal Design for Learning bewährt (vgl. u. a. Wember, Michna & Melle, 2016).

Bildungsziele und Kompetenzorientierung im Fach Chemie

Eng mit der Entwicklung von Schule und Unterricht geht auch die theoretische Auseinandersetzung mit dem Bildungsbegriff einher. Bildung als eine der zentralen Aufgaben von Schule (vgl. Fend, 2009) hat sich dabei unlängst als die Verwirklichung des Individuums durch eine Auseinandersetzung mit seiner Umwelt konstituiert (vgl. u.a. Gebhard, Höttecke, & Rehm, 2017; Dörpinghaus & Uphoff, 2013). Ausgehend von einem kritischen Bildungsverständnis (vgl. Adorno, 1971) sehen Raithel, Dollinger, & Hörmann (2009) die „Förderung der Eigenständigkeit und Selbstbestimmung eines Menschen durch eine intensive sinnliche Aneignung und gedankliche Auseinandersetzung mit der ökonomischen, kulturellen und sozialen

Lebenswelt (Raithel, Dollinger, & Hörmann, 2009, S. 36)“ als zentrale Momente eines modernen Bildungsbegriffs. Neben der durch Eigenständigkeit und Selbstbestimmung zum Ausdruck gebrachten Mündigkeit, werden hier auch gesellschaftliche Bezüge zunehmend zum Gegenstand von Bildung. Damit kann Bildung auch zur gesellschaftlichen Teilhabe beitragen, was unmittelbar zur Frage nach einer allgemeinen Bildung führt. Klafki (2007) greift diesen Gedanken in seiner Theorie einer allgemeinen Bildung auf, indem er Allgemeinbildung als “[...] als Aneignung der die Menschen gemeinsam angehenden Frage- und Problemstellungen ihrer geschichtlich gewordenen Gegenwart und der sich abzeichnenden Zukunft und als Auseinandersetzung mit diesen gemeinsamen Aufgaben, Problemen und Gefahren (Klafki, 2007, S. 53)“. In der Konsequenz muss Allgemeinbildung Menschen dazu befähigen selbstbestimmt, mitbestimmend und solidarisch handeln zu können (Klafki, 2007). Ausgangspunkt dafür sind gesellschaftlich relevante Herausforderungen, mit denen sich Schülerinnen und Schüler in epochaltypischen Schlüsselproblemen auseinandersetzen (Klafki, 2007). Von aktueller Relevanz sind hier unter anderem Umweltfragen zu nennen, die sich auf ein Problembewusstsein, die Bedeutung naturwissenschaftlich-technischer Fortschritts für gesellschaftlichen und ökologische Entwicklungen sowie einen nachhaltigen Umgang mit Ressourcen beziehen (vgl. Gebhard, Höttecke, & Rehm, 2017; Klafki, 2007). Viele solcher Aspekte beziehen sich auf theoretische Erkenntnisse und Konzepte naturwissenschaftlicher Forschung. Damit liegt in einer durch technischen Fortschritt geprägten Gesellschaft und Arbeitswelt in den Naturwissenschaften ein wichtiger Teil einer modernen Allgemeinbildung (Gebhard, Höttecke, & Rehm, 2017; Oelkers, 2002; Bybee, 2002). Der Beitrag des naturwissenschaftlichen Unterrichts zur Allgemeinbildung wird im deutschsprachigen Raum unter naturwissenschaftliche Grundbildung diskutiert. Die im englischsprachigen Raum verwendete Bezeichnung Scientific Literacy wird häufig synonym verwendet (vgl. Höttecke, 2001), bezieht sich aber auf ein stärker pragmatisch ausgerichtetes Bildungsverständnis (Gebhard, Höttecke, & Rehm, 2017; Gräber & Nentwig, 2002). Beide Konzepte weisen jedoch große Gemeinsamkeiten und Überschneidungen auf und werden daher im Folgenden gleichbedeutend verwendet.

Die Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) versteht unter naturwissenschaftlicher Grundbildung die Fähigkeit

„[...] naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, um Fragestellungen zu erkennen, sich neues Wissen anzueignen, naturwissenschaftliche Phänomene zu beschreiben und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen, die charakteristischen Eigenschaften der Naturwissenschaften als eine Form menschlichen Wissens und Forschens zu verstehen, zu erkennen und sich

darüber bewusst zu sein, wie Naturwissenschaften und Technik unsere materielle, intellektuelle und kulturelle Umwelt formen, sowie die Bereitschaft, sich mit naturwissenschaftlichen Ideen und Themen zu beschäftigen und sich reflektierend mit ihnen auseinanderzusetzen“ (Reiss, Sälzer, Schiepe-Tiska, Klieme, & Köller, 2016, S. 48-49).

Dem Ansatz einer naturwissenschaftlichen Grundbildung liegen zwei wesentliche Schwerpunkte zugrunde: Es sollen Ziele beschrieben werden, die grundlegend notwendig für eine aktive und selbstbestimmte Teilhabe am gesellschaftlichen Leben sind, gleichzeitig aber auch für jede Schülerin und jeden Schüler in hinreichendem Maße erreichbar sein. Bybee (2002) unterscheidet hierzu unterschiedliche Niveaus naturwissenschaftlicher Grundbildung, die von einer nominalen (u.a. naturwissenschaftliche Begriffe und Fragen als solche erkennen), über eine funktionale (u. a. das Anwenden einfacher Elemente der naturwissenschaftlichen Fachsprache) sowie konzeptionelle (u. a. ein grundlegendes Verständnis von naturwissenschaftlichen Konzepten sowie Denk- und Arbeitsweisen) bis hin zu einer multidimensionalen (u.a. naturwissenschaftliche Disziplinen in einen sozialen Kontext einordnen) naturwissenschaftlichen Grundbildung unterschiedliche Fähigkeiten und Einstellungen in Bezug auf naturwissenschaftliche Bildung ausmacht (vgl. weiterführend Bybee, 2002, S. 31).

In seiner stark bildungstheoretischen Fundierung bleibt naturwissenschaftliche Grundbildung ein abstraktes Konstrukt, das nicht einfach operationalisierbar ist und sich einer direkten Überprüfung entzieht (vgl. Dörpinghaus & Uphoff, 2013). Da Schule und Unterricht einer zunehmenden Kontrolle und Steuerung in ihren Aufgaben und Prozessen unterworfen sind (van Ackeren, Klemm, & Kühn, 2015), wurden Lernprozesse stärker auf den Erwerb von Kompetenzen ausgerichtet. Weit verbreitet ist in diesem Zusammenhang die begriffliche Fassung von Kompetenzen als „[...] 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, 2001, S. 27ff.). Dieser Kompetenzbegriff dient als zentrale Grundlage für die Beschreibung von Standards, wie sie unter anderem in den Bildungsstandards für Mittleren Schulabschluss im Fach Chemie von der Kultusministerkonferenz festgelegt worden sind (KMK, 2005). Diese beschreiben inhalts- und handlungsbezogene Kompetenzen, über die Schülerinnen und Schüler am Ende der Sekundarstufe I verfügen sollen. Während sich inhaltsbezogene Kompetenzen auf den Umgang mit erworbenem Wissen innerhalb einer bestimmten Fachdisziplin beziehen, umfassen handlungsbezogene Kompetenzen

die über alle naturwissenschaftlichen Fächer greifenden Fähigkeiten in den Bereichen Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung (KMK, 2005). Beim Lernen sollen inhalts- und handlungsbezogene Kompetenzen nicht getrennt voneinander erworben werden, sondern in einer wechselseitigen und sich aufeinander beziehenden Betrachtung. Im Chemieunterricht umfasst ein kompetenter Umgang mit Fachwissen die Kenntnis über zentrale Prinzipien und Konzepte der Chemie (vgl. Sommer & Pfeifer, 2019) sowie die Fähigkeit, diese in geeigneten Situationen angemessen anwenden zu können. Das Fachwissen in der Chemie kann dabei grundsätzlich anhand für das Fach Chemie spezifischer Basiskonzepte strukturiert werden (vgl. Sommer & Pfeifer, 2019; KMK, 2005): Schülerinnen und Schüler erwerben Wissen zum Aufbau der stofflichen Welt (Basiskonzept Stoff-Teilchen-Konzept), zum Zusammenhang von Teilchenstruktur und Eigenschaften eines Stoffes (Basiskonzept Struktur-Eigenschafts-Beziehungen), zu der Wechselwirkung und Veränderung von Stoffen (Basiskonzept Chemische Reaktion) sowie damit verbundene energetische Änderungen (Basiskonzept Energie). Übergeordnet liefert die Chemie als Wissenschaft Erkenntnisse über einen sicheren Umgang mit Gefahrstoffen und stellt chemisch-technische Verfahren zur Verfügung, die in einer Vielzahl von Berufen Anwendung finden (Sommer & Pfeifer, 2019).

Eine Schlüsselrolle zur Entwicklung und Förderung der für eine naturwissenschaftliche Grundbildung notwendigen Kompetenzen nimmt in den naturwissenschaftlichen Fächern besonders eine Methode ein: Das Experimentieren (u. a. Lederman, Lederman, & Antink, 2013; Wirth, Thilmann, Künsting, Fischer, & Leutner, 2008; KMK, 2005). Denn gerade das Experimentieren bietet die Möglichkeit, die Erarbeitung naturwissenschaftlicher Konzepte mit Aspekten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens in Beziehung zu setzen.

1.1.2 Schülerorientiertes Experimentieren im Fach Chemie

Dem Experiment kommt sowohl in der Fachwissenschaft als auch den Fachdidaktiken naturwissenschaftlicher Disziplinen große Bedeutung zu. Als eine, wenn nicht sogar die zentrale Methode der Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften, dient das Experiment der Prüfung oder Generierung von Hypothesen (u. a. Schulz, Wirtz, & Staraschek, 2012). Im Chemieunterricht werden mit dem Experiment stärker lern- und entwicklungspsychologische Funktionen verbunden (vgl. Bader & Lühken, 2019; Barke, Harsch, Marohn, & Krees, 2015). Mit Einzug der Kompetenzorientierung in den Lernprozessen des Chemieunterrichts ist an dieser Stelle vor allem der Bezug zu Aspekten naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens beim

Experimentieren stärker in den Vordergrund getreten. Erkenntnisgewinnung wird dabei als eigener Kompetenzbereich gleichbedeutend neben anderen aufgeführt (KMK, 2005). Schülerinnen und Schüler sollen befähigt werden, Experimente als Untersuchungsmethode verständnisvoll nutzen zu können.

Die Umsetzung von Experimentierphasen kann hinsichtlich Sozialform und Methodik unterschiedlich gestaltet sein (vgl. Bader & Lühken, 2019; Barzel, Reinhofer, & Schrenk, 2012). Für den Chemieunterricht konnte Schulz (2010) zeigen, dass ein Großteil (89 %) der umgesetzten Experimentierphasen als Schülerexperimente in Kleingruppen stattfinden. Zu einem vergleichbaren Ergebnis kommen auch Tesch & Duit (2004) für den Physikunterricht. Damit liegen viele für ein erfolgreiches Lernen notwendige Aktivitäten in der Verantwortung von Schülerinnen und Schülern. Es ist daher umso wichtiger, geeignete Lerngelegenheiten zum Experimentieren zu schaffen, mit denen Schülerinnen und Schülern erfolgreich lernen können.

Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben

Die Diskussion um eine stärkere Kompetenzorientierung in Bildungsprozessen führte zur Entwicklung einer neuen Lernkultur beim schulischen Lernen. Besonders im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht drückte sich dies in der zunehmenden Bedeutung des Einsatzes von Aufgaben in Lernprozesse aus (Maier, Kleinknecht, Metz, & Bohl, 2010; Leisen, 2006). Der Einsatz von Aufgaben kann sich dabei sowohl auf Lern- als auch die Leistungssituationen beziehen. Während Leistungsaufgabe eine Möglichkeit zur Überprüfung von Kompetenzen darstellen, werden Lernaufgaben zur Erarbeitung (Erarbeitungsaufgaben) und zum Üben (Übungsaufgaben) von Fähigkeiten und Fertigkeiten eingesetzt (Luthiger, 2014).

Gute Erarbeitungsaufgaben zeichnen sich dabei durch eine Orientierung an Lernaktivitäten aus, bieten Anschlussfähigkeit an die Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler und schaffen Möglichkeiten für sozialen Austausch (Luthiger, 2014). Da eine inhaltliche Strukturierung von Lernprozessen für erfolgreiches Lernen von zentraler Bedeutung ist (vgl. u.a. Seidel & Shavelson, 2007), muss der Lerngegenstand in Erarbeitungsaufgaben kohärent und nachvollziehbar aufbereitet werden (Luthiger, 2014).

Tepner (2008) konnte für den Chemieunterricht zeigen, dass eine eigenständige Bearbeitung von Lernaufgaben durch die Schülerinnen und Schüler zu einem höheren Lernerfolg führt. In Bezug auf den Einsatz von Aufgaben beim Experimentieren konnte Rumann (2005) ebenfalls einen positiven Einfluss durch die eigenständige Bearbeitung von Lernaufgaben auf die Lernleistung im Themenbereich „Säuren und Basen“ finden. Weitere Untersuchungen bestätigen das Potential des

Einsatzes kooperativer Experimentieraufgaben im Chemieunterricht (Walpuski, 2006; Henke, 2007; Wahser, 2007; Knobloch, 2011; Emden, 2011; Habig, 2017).

Die Schülerinnen und Schüler arbeiten dabei in Kleingruppen an einer offenen Experimentieraufgabe, in der es inhaltlich um einen chemischen Zusammenhang geht. Den Schülerinnen und Schülern wird dabei eine Fragestellung vorgegeben (guided inquiry), der sie im Rahmen der Kleingruppenarbeit mit Hilfe eigenständiger Experimente nachgehen (vgl. Banchi & Bell, 2008). Die Lernumgebungen, in die die Experimentieraufgaben eingebettet sind, enthalten auf die Experimentieraufgabe abgestimmtes Experimentiermaterial sowie aufgabenbezogenes und in geeigneter Weise strukturiertes Informationsmaterial (Rumann, 2005).

Insgesamt erfüllen kooperative Experimentieraufgaben wesentliche Voraussetzungen für gute Erarbeitungsaufgaben (vgl. Luthiger, 2014). Allerdings zeigen Analysen von videographierten Arbeitsphasen mit kooperativen Experimentieraufgaben, dass den Schülerinnen und Schülern oft keine geeignete Strukturierung des Arbeitsprozesses gelingt (Sumfleth, Nicolai, & Rumann, 2004).

Ausgehend davon entwickelte Walpuski (2006) die Maßnahmen Feedback und Strukturierungshilfe zur Steigerung der Effektivität des Einsatzes kooperativer Experimentieraufgaben im Chemieunterricht. Während sich für den Einsatz von Feedback durch die Lehrperson ein positiver Einfluss auf den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler zeigt, bleibt der Einsatz der Strukturierungshilfen hinter den Erwartungen zurück (Walpuski, 2006). Trotz der zur Verfügung stehenden Strukturierungshilfe gelingt es den Schülerinnen und Schülern nicht, den Arbeitsprozess optimal zu strukturieren.

Zu diesem Zweck entwickelte Wahser (2007) ein Training zu experimentellen Arbeitsweisen, um Schülerinnen und Schülern die notwendigen Fähigkeiten zu vermitteln, die sie zum Arbeiten mit der Strukturierungshilfe benötigen. Die Ergebnisse belegen einen positiven Einfluss des Trainings sowohl auf den Lernerfolg als auch auf der Ebene der Prozessgestaltung (Wahser, 2007).

Mit Blick auf die Zusammenarbeit von Schülerinnen und Schülern in Kleingruppen untersuchte Knobloch (2011) den Einfluss der Fachkommunikation auf den Lernerfolg beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben. Eine von ihr entwickelte Maßnahme zur Steigerung der Kommunikation innerhalb der Kleingruppen führt dabei zu einer höheren fachinhaltlichen Qualität der Schüleräußerungen in der Kleingruppenarbeit. Diese wirkt sich zudem positiv auf den Lernerfolg aus (Knobloch, 2011).

In den Untersuchungen von Emden (2011) und Habig (2017) stellen kooperative Experimentieraufgaben die Grundlage für weiterführende Forschungsgegenstände dar. So nutzte Emden (2011) den Einsatz kooperativer Experimentieraufgaben als

Diagnoseinstrument zur prozessorientierten Erfassung naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens. Habig (2017) setzte kooperative Experimentieraufgaben zur Untersuchung des Einflusses von Kontextualisierung und Problemorientierung beim kontextorientierten Lernen ein.

Insgesamt deutet die Befundlage zum Einsatz kooperativer Experimentieraufgaben auf ein hohes Potential für kompetenzorientiertes Lernen im Chemieunterricht hin. Wie hierzu vorliegende Untersuchungen gezeigt haben, hängt ein erfolgreicher Einsatz jedoch von unterschiedlichen Faktoren ab, die häufig auf der Prozessebene zu finden sind. Hier geht es vor allem darum, welche Lernaktivitäten zur Erkenntnisgewinnung von den Schülerinnen und Schülern genutzt werden und wie der Prozess der Erkenntnisgewinnung überhaupt strukturiert wird.

Erkenntnisgewinnung und Lernaktivitäten beim eigenständigen Experimentieren

Ein kompetenter Umgang mit Methoden der Erkenntnisgewinnung ist integraler Bestandteil naturwissenschaftlicher Grundbildung (KMK, 2005; Bybee, 2002). Dies umfasst neben Kompetenzen zu naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen (Scientific Inquiry) auch Aspekte wissenschaftstheoretischer Hintergründe und Reflexion (Nature of Science). Beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben stellt Erkenntnisgewinnung Lernweg und Ziel gleichermaßen dar. Die Schülerinnen und Schüler wenden naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen an, um ausgehend von einer vorgegebenen Fragestellung einen chemischen Zusammenhang zu erarbeiten. Dadurch werden Lerngelegenheiten geschaffen, in denen handlungsbezogene Kompetenzen überhaupt erworben werden können.

Eine lerntheoretische Annäherung an den Prozess der Erkenntnisgewinnung liefert das von Klahr & Dunbar (1988) entwickelte Modell des Scientific Discovery as Dual Search (vgl. Abbildung 4). Dieses Modell ist in vielen Untersuchungen zur theoretischen Fundierung von Prozessen der Erkenntnisgewinnung im naturwissenschaftlichen Unterricht herangezogen worden (vgl. u.a. Rönnebeck, Bernholt, & Ropohl, 2016; Wellnitz & Mayer, 2013; Klos, Henke, Kieren, Walpuski, & Sumfleth, 2008; de Jong & van Joolingen, 1998).

Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung stellt sich in diesem Modell als Prozess komplexen Problemlösens dar (Mayer, 2007; Klahr, 2000). Die Struktur dieser Prozesse lässt sich durch drei Komponenten abbilden: Der Suche im Hypothesenraum, dem Prüfen von Hypothesen und der Analyse von Evidenzen (Klahr, 2000). In einer vergleichenden Betrachtung verschiedener weiterer Ansätze zur Strukturierung von Erkenntnisgewinnungsprozessen kommen Emden (2011) und

Rönnebeck, Bernolt, & Ropohl (2016) zu dem Schluss, dass sich sämtliche Ansätze auf drei Phasen zurückführen lassen.

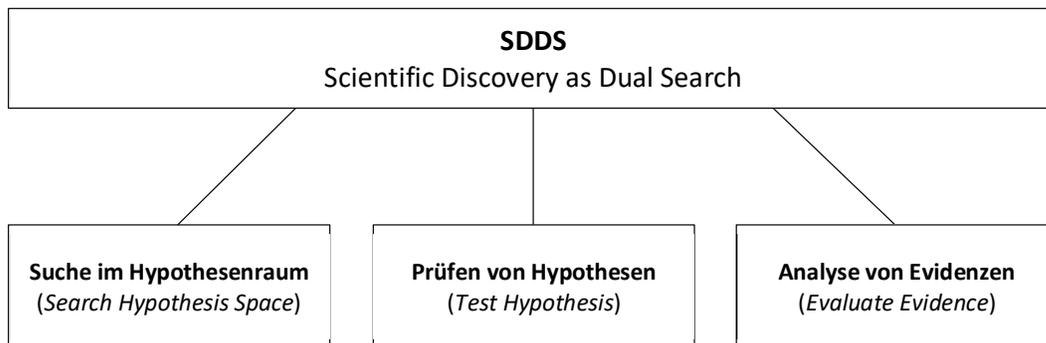


Abbildung 4: Erkenntnisgewinnung nach dem SDDS-Modell (adaptiert nach Klahr, 2000, S. 37)

In einem ersten Schritt werden ausgehend von einer Fragestellung Hypothesen formuliert, die eine Grundlage für ein zu entwickelndes Untersuchungsdesign verwendet werden (Phase der Planung). Daran anschließend wird ein zur Überprüfung der Ideen oder Hypothesen geeignetes Experiment durchgeführt (Phase der Durchführung), das abschließend mit Rückbezug auf die zugrunde Fragestellung ausgewertet wird (Phase der Auswertung). Jede dieser Phasen ist durch spezifische Aktivitäten und Ziele geprägt (vgl. Schulz, 2010).

Zentrales Ziel in der Phase der Planung ist die Entwicklung eines Untersuchungsdesigns (vgl. Rönnebeck, Bernholt, & Ropohl, 2016). Dabei geht es im Wesentlichen darum, aus einer theoretischen Perspektive das Ziel zu rekonstruieren und für eine empirische Untersuchung verfügbar zu machen. Zielführende Aktivitäten sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Bedeutsame Lernaktivitäten in der Phase der Planung

Lernaktivität	Konkretisierung	empirische Bezüge
Fragestellung entwickeln oder klären	Ausgehend von einem Problem oder einem Phänomen wird eine Fragestellung entwickelt oder eine bereits vorgegebene Fragestellung geklärt.	Schreiber (2009) Rönnebeck et al. (2016) Gut-Glanzmann & Mayer (2018)
Ideen und Hypothesen formulieren	Es wird ein Zusammenhang formuliert, der in Bezug auf Fragestellung geprüft werden kann. Ideen sind im Gegensatz zu Hypothesen nicht theoretisch begründet und können Vermutungen zum Ausgang eines Experiments umfassen.	Klahr (2000) Schreiber (2009) Emden (2011) Wellnitz & Mayer (2013) Rönnebeck et al. (2016) Gut-Glanzmann & Mayer (2018)

Tabelle 1 (Fortsetzung): Bedeutsame Lernaktivitäten in der Phase der Planung

Lernaktivität	Konkretisierung	empirische Bezüge
Verfügbares Wissen aktivieren	Mit der Fragestellung in Beziehung stehendes Wissen wird aktiviert und in die Planung eingebracht.	Klahr (2000) Völzke, Arnold, & Kremer (2013) Rönnebeck, et al. (2016)
Variablen identifizieren	Abhängige und unabhängige Variablen werden benannt und Kontrollvariablen beschrieben. Die Ausprägung der Variablen wird festgelegt.	Wellnitz & Mayer (2013) Scheuermann (2017) Gut-Glanzmann & Mayer (2018)
Benötigtes Material auswählen	Für die Untersuchung relevantes Material wird benannt und auf die Planung bezogen.	Scheuermann (2017)
Kontroll- und Experimentalansätze entwickeln	Zur Kontrolle des eindeutigen Einflusses einer unabhängigen Variable auf eine abhängige Variable werden kontrollierte Ansätze mit systematisch variierten Bedingungen entwickelt.	Wellnitz & Mayer (2013) Scheuermann (2017)
Analogisieren und kreatives Verknüpfen	Es werden Bezüge zu bereits bekannten Zusammenhängen oder Untersuchungen aufgedeckt und in die Planung eingebunden.	Völzke, Arnold, & Kremer (2013)
Messkonzepte festlegen	Das Messkonzept wird festgelegt.	Völzke, Arnold, & Kremer (2013) Gut-Glanzmann & Mayer (2018)

Der positive Einfluss einer Explikation der während der Planung von Experimenten bedeutsamen Lernaktivitäten auf den Lernerfolg konnte bereits nachgewiesen werden (Scheuermann, 2017). Werden die Schülerinnen und Schüler beim eigenständigen Experimentieren durch eine explizite Planungsphase dazu angehalten, sich bewusst über die Entwicklung eines Untersuchungsdesign auszutauschen, wirkt sich dies ebenfalls positiv den Erwerb von Fachwissen aus (Knobloch, 2011). In der Planungsphase ausgeführte Aktivitäten bilden die Grundlage für die anschließende Phase der Durchführung. Die Lernaktivitäten in dieser Phase (vgl. Tabelle 2) zielen auf eine Umsetzung des in der Planung entwickelten Untersuchungsdesigns ab.

Tabelle 2: Bedeutsame Lernaktivitäten in der Phase der Durchführung

Lernaktivität	Konkretisierung	empirische Bezüge
Aufbau eines Experiments	Ein Experimentieransatz wird mit Hilfe des Materials aufgebaut.	Gut-Glanzmann & Mayer (2018)

I Theoretischer Rahmen

Tabelle 2 (Fortsetzung): Bedeutsame Lernaktivitäten in der Phase der Durchführung

Lernaktivität	Konkretisierung	empirische Bezüge
Durchführung eines Experiments	Ein geplantes und aufgebautes Experiment wird durchgeführt.	Klahr (2000) Wellnitz & Mayer (2013) Gut-Glanzmann & Mayer (2018)
Systematische Variation einer unabhängigen Variablen	In der Durchführung werden unabhängige Variablen systematisch verändert. Die Kontrollvariablen werden konstant gehalten.	Wellnitz & Mayer (2018)
Kontrolle der Rahmenbedingungen	Weitere Einflussfaktoren werden konstant gehalten und beobachtet.	Wellnitz & Mayer (2013)
Kontrollansatz umsetzen	Der zu dem Experimentieransatz erstellte Kontrollansatz zur eindeutigen Kausalitätsprüfung wird analog zum Experimentalansatz durchgeführt.	Wellnitz & Mayer (2013)
Beobachten und Messen	Qualitative und quantitative Beobachtungen werden erfasst.	Klahr (2000) Wellnitz & Mayer (2013) Gut-Glanzmann & Mayer (2018)
Daten dokumentieren	Beobachtungen werden in nachvollziehbarer Art und Weise festgehalten.	Gut-Glanzmann & Mayer (2018)

Aktivitäten der Durchführung umfassen sowohl experimentierbezogene Fähigkeiten (u.a. Beobachten und Messen) als auch praktische Fertigkeiten (u.a. Aufbau eines Experiments). Durch Beobachtungen und Messungen sammeln die Schülerinnen und Schüler Daten, die in der Phase der Auswertung genutzt werden (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Bedeutsame Lernaktivitäten in der Phase der Auswertung

Lernaktivität	Konkretisierung	empirische Bezüge
Aufbereitung und Verarbeitung von Messdaten	Beobachtungen werden im Sinne einer Datenaufbereitung verarbeitet und für weitere Auswertungen zugänglich gemacht.	Muth (2018)
Analyse von Daten	Die gewonnenen Daten werden vor dem Hintergrund der Fragestellung mit Hilfe sinnvoller Methoden untersucht.	Gut-Glanzmann & Mayer (2018) Muth (2018)
Schlussfolgerungen ziehen	Aus den Daten werden Schlussfolgerungen mit Bezug zur Fragestellung gezogen.	Gut-Glanzmann & Mayer (2018) Muth (2018)

Tabelle 3 (Fortsetzung): Bedeutsame Lernaktivitäten in der Phase der Auswertung

Lernaktivität	Konkretisierung	empirische Bezüge
<i>Ergebnisse auf Hypothese beziehen</i>	Mit Hilfe der Schlussfolgerungen wird eine Hypothese verifiziert oder falsifiziert.	Klahr (2000) Muth (2018)
<i>Fragestellung beantworten</i>	Die Erkenntnisse werden auf die Fragestellung bezogen.	Wellnitz & Mayer (2013)
<i>Qualität der Daten und Fehler diskutieren</i>	Es werden Fehler und Limitationen der Untersuchung diskutiert. Bei unerwarteten Ergebnissen erfolgt die Diskussion möglicher Fehlerquellen.	Klahr (2000) Wellnitz & Mayer (2013) Gut-Glanzmann & Mayer (2018) Muth (2018)

Häufig verfügen Schülerinnen und Schüler noch nicht über die notwendigen Kompetenzen, um den Prozess der Erkenntnisgewinnung eigenständig und effizient vollziehen zu können. Dadurch können Schwierigkeiten auftreten, die unmittelbar mit dem Erfolg des Lernprozesses im Zusammenhang stehen.

Schwierigkeiten und Fehler beim eigenständigen Experimentieren

Ausgehend von einer theoretischen Konzeptualisierung von Schwierigkeiten als erschwerte Lernsituationen, kann spezifisch für die Bearbeitung kooperativer Experimentieraufgaben konkretes Lernverhalten beschrieben werden, das den Lernprozess im Sinne auftretender Schwierigkeiten beeinflusst.

Beim eigenständigen Experimentieren weist die Forschungslage auf Schwierigkeiten und Fehler hin, die entweder einzelne Phasen betreffen oder den Prozess der Erkenntnisgewinnung in seiner Gesamtstruktur umfassen. Erste Erkenntnisse zu auftretenden Schwierigkeiten und Fehlern beim eigenständigen Experimentieren liefern de Jong & van Joolingen (1998). Häufige Fehler von Schülerinnen und Schülern stehen hier im Zusammenhang mit der hypothesenprüfenden Funktion des Experiments. Eine vergleichbare Perspektive auf Problembereiche von Schülerinnen und Schülern bei der Bearbeitung experimenteller Aufgaben im Biologieunterricht zeigen die Ergebnisse von Hammann, Phan, Ehmer, & Bayrhuber (2006). Hier sind es vor allem Defizite beim Planen, beim Analysieren im Umgang mit Hypothesen. Beim Lernen mit Experimentieraufgaben im Chemieunterricht können die von Schülerinnen und Schülern gemachten Fehler in manuelle und inhaltliche Fehler unterschieden werden (Wahser, 2007). Darüber hinaus konnten bei aufeinander aufbauenden Experimentieraufgaben ein erneutes Auftreten von Fehlern (Wiederholungsfehler) bei der Bearbeitung weiterer Aufgaben beobachtet werden (Wahser, 2007). In einer Untersuchung zu Schülerschwierigkeiten beim

eigenständigen Experimentieren zum Hook'schen Gesetz konnte Kechel (2016) themenspezifische Schwierigkeiten finden, die sich durch sämtliche Phasen der Erkenntnisgewinnung ziehen. Die unmittelbar beobachtbaren Schwierigkeiten sind dabei häufig spezifisch für die Lernaufgabe (Kechel, 2016). Baur (2018) konnte ausgehend von einer theoretischen Auseinandersetzung mit bereits vorliegender Forschung zu Schwierigkeiten und Fehlern beim eigenständigen Experimentieren zu zwei Themen des Biologieunterrichts die Forschungslage hierzu weitestgehend replizieren. Insgesamt stellt sich die Forschungslage zu Schwierigkeiten und Fehlern beim eigenständigen Experimentieren sehr breit dar, ist aber häufig auf einzelne Themenbereiche begrenzt. Daher wird im Folgenden die Befundlage dazu differenziert nach den Phasen der Erkenntnisgewinnung aus dem vorangegangenen Abschnitt systematisch zusammengetragen und zu typischen Problembereichen verdichtet.

Die spezifische Forschungslage zur Planung von Untersuchungen beim eigenständigen Experimentieren bezieht sich vor allem auf Aktivitäten zum Umgang mit Hypothesen und der Variablenkontrollstrategie (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4: Typische Schwierigkeiten und Fehler bei der eigenständigen Planung von Experimenten

Problembereich	Konkretisierung	empirische Bezüge
<i>Schwierigkeiten beim richtigen Umgang mit gegebenen Informationen</i>	Eine Fragestellung wird nicht verstanden oder es werden falsche Informationen aus einer Informationsquelle gezogen.	Groß (2013) Kechel (2016)
<i>Schwierigkeiten beim Formulieren einer Hypothese</i>	Das Aufstellen einer Hypothese bereitet den Lernenden Schwierigkeiten.	de Jong & van Joolingen (1998) Hamman et al. (2006) Walpuski (2006) Baur (2018)
<i>Formulierung einer ungeeigneten Hypothese</i>	Lernende formulieren eine Hypothese, die in einem Experiment nicht sinnvoll untersucht werden kann oder sich einer direkten Untersuchung entzieht.	de Jong & van Joolingen (1998)
<i>Schwierigkeiten bei der Identifikation und Variation von Variablen</i>	Lernende haben Schwierigkeiten die relevanten Variablen zu erfassen und zu benennen. Dadurch können die Lernenden Variablen nicht sinnvoll variieren.	Hamman et al. (2006) Scheuermann (2017)
<i>Kein Kontrollansatz</i>	Es wird zum Experimentalansatz kein passender Kontrollansatz durchgeführt.	Hamman et al. (2006)

Bei der Durchführung kommen sowohl Schwierigkeiten bei der manuellen Durchführung (praktische Fehler) als auch in der konzeptionellen Umsetzung wichtiger

Aktivitäten im Erkenntnisgewinnungsprozess, insbesondere beim Beobachten, vor (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Typische Schwierigkeiten und Fehler bei der eigenständigen Durchführung von Experimenten

Problembereich	Konkretisierung	empirische Bezüge
<i>Fehlerhafte Verwendung des Materials</i>	Lernende nutzen das zur Verfügung stehende Material falsch (z. B. ungeeignete Mengen an Indikator).	Walpuski (2006) Wahser (2007) Kechel (2016)
<i>Unpräzise Beobachtungen oder Messungen</i>	Beobachtungen werden unpräzise beschrieben und Messwerte nicht genau abgelesen.	Kechel (2016)
<i>Ungeeignete Bedingungen beim Beobachten oder Messen</i>	Unzulässiges Festhalten der Federwaage oder Berühren des zu wiegenden Gegenstands.	Kechel (2016)
<i>Schwierigkeiten bei der eigenständigen Ausübung experimenteller Fertigkeiten</i>	Lernende haben Schwierigkeiten bei der Ausübung grundlegender Techniken experimentellen Arbeitens (z. B. das Abfüllen einer Flüssigkeit mit einer Pipette).	Wahser (2007) Groß (2013)
<i>Variation zu vieler Variablen gleichzeitig</i>	Es werden zu viele Variablen gleichzeitig berücksichtigt, sodass kausale Zusammenhänge zwischen aufgabenbezogenen Variablen nicht identifiziert werden können.	de Jong & van Joolingen (1998) Hamann et al. (2006) Wahser (2007) Baur (2018)
<i>Vertauschen von Versuchsansätzen</i>	Unterschiedliche Ansätze werden vertauscht.	Wahser (2007) Baur (2018)

Die Phase der Auswertung wird zwar maßgeblich durch Aktivitäten und damit auch Schwierigkeiten der Planungs- und Durchführungsphase beeinflusst, allerdings bereitet auch das Ziehen richtiger Schlüsse den Schülerinnen und Schülern große Schwierigkeiten (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 6: Typische Schwierigkeiten und Fehler bei der eigenständigen Auswertung von Experimenten

Problembereich	Konkretisierung	empirische Bezüge
<i>Fehlerhafte Strategien bei der Datenaufbereitung</i>	In einem Experiment erhobene Messwerte oder gemachte Beobachtungen können aufgrund ungeeigneter Strategien nicht in auswertbare Daten überführt werden.	Kechel (2016)

Tabelle 6 (Fortsetzung): Typische Schwierigkeiten und Fehler bei der eigenständigen Auswertung von Experimenten

Problembereich	Konkretisierung	empirische Bezüge
<i>Fehlendes Wissen über für die Auswertung notwendiger Aspekte</i>	Den Lernenden fehlt Wissen über wichtige Teilschritte beim Auswerten, sodass bei der Auswertung Probleme auftreten (u. a. Unvollständigkeit der Auswertung).	Groß (2013) Kechel (2016)
<i>Kein Endergebnis</i>	Lernende erhalten am Ende eines Experimentierprozesses kein Ergebnis oder können dieses nicht bewusst benennen.	Walpuski (2006) Wahser (2007) Kechel (2016) Baur (2018)
<i>Schwierigkeiten bei der Schlussfolgerung</i>	Lernende tun sich beim Ziehen von Schlussfolgerungen schwer und es gelingt nur unter großem Aufwand.	Baur (2018)
<i>Falsche Schlussfolgerungen</i>	Aus aufbereiteten Daten werden falsche Schlüsse gezogen.	de Jong & van Joolingen (1998) Hammann et al. (2006)
<i>Keine Schlussfolgerungen</i>	Lernenden gelingt es nicht, aus Daten Schlüsse zu ziehen, sodass am Ende keine Schlussfolgerungen vorliegen.	Walpuski (2006) Wahser (2007) Baur (2018)
<i>Schwierigkeiten beim Umgang mit abweichenden Ergebnissen</i>	Lernende können mit unerwarteten Ergebnissen nicht umgehen oder neigen dazu, diese umzudeuten.	Hammann et al. (2006)

Neben den bereits beschriebenen Problembereichen lassen sich auch Schwierigkeiten und Fehler auf der Ebene des Gesamtprozesses beobachten. Hier treten vor allem Fehler auf, die sich entweder auf vollständig ausgelassene Phasen (Auslassungsfehler) oder in ungeeigneter Art und Weise verknüpfte Phasen (Passungsfehler) beziehen (Emden, 2010; Wahser, 2007). Auch können bei vollständigen Prozessen einzelne Phasen sachlogisch falsch in Bezug zu den anderen Phasen stehen (Emden, 2010). Die Ursachen für Schwierigkeiten und Fehler beim Lernen sind vielfältig. Neben äußeren Bedingungsfaktoren wie dem sozialen Umfeld (exogene Bedingungsfaktoren) sind es vor allem die individuellen Lernvoraussetzungen von Schülerinnen und Schülern (endogene Bedingungsfaktoren), die eine zentrale Rolle bei der Entstehung von Lernschwierigkeiten spielen (Heimlich, 2016). Damit stellen individuelle Lernvoraussetzungen umso mehr eine wichtige Grundlage für die Gestaltung erfolgreicher Lernprozesse im Chemieunterricht dar.

I.2 Individualisierung von Lernprozessen im Chemieunterricht

1.2.1 Heterogenität als Diskurs im Fach Chemie

Erfolgreiches Lernen in heterogenen Lerngruppen ist seit jeher Gegenstand zahlreicher bildungswissenschaftlicher wie auch bildungspolitischer Bemühungen (vgl. Trautmann & Wischer, 2011). Insbesondere der Ausbau inklusiver Lerngruppen in der Sekundarstufe I führte zu einer stärkeren Berücksichtigung des Lernens in heterogenen Lerngruppen. Angetrieben von stetigen Individualisierungsprozessen in einer pluralisierenden Gesellschaft stellt ein produktiver Umgang mit Heterogenität ein zentrales Bezugsfeld für Schule und Unterricht dar (Prenzel, 2019; Rabenstein & Steinwand, 2013; von der Groeben, 2003). Im Heterogenitätsbegriff kommt allgemein die soziale Konstruktion von Unterschieden innerhalb einer Lerngruppe im Kontext Schule zum Ausdruck, der geprägt ist von einem dialektischen Verhältnis von Gleichheit und Verschiedenheit (Prenzel, 2019; Buholzer & Kummer Wyss, 2012; Trautmann & Wischer, 2011). Im Unterricht äußert sich dies durch die Anerkennung unterschiedlicher Lernpotentiale einerseits und der Orientierung an festgelegten Bildungszielen andererseits (Scheunpflug, 2008). Die im Heterogenitätsdiskurs aufkommenden Unterschiede gehen in einer Vielzahl von, im schulischen Handlungsfeld unterschiedlich bedeutsamen und oft schwer einheitlich zu fassenden Differenzlinien auf, sodass der Heterogenitätsbegriff immer auch eine gewisse Unbestimmtheit in sich trägt (Prenzel, 2019). Eine zentrale Kritik am Heterogenitätsbegriff ist die starke Orientierung an Unterschieden und damit verbundenen negative Zuschreibungen. In den letzten Jahren ist daher im Zusammenhang mit der Berücksichtigung unterschiedlicher Lernvoraussetzungen von Schülerinnen und Schülern eine zunehmende Orientierung am Begriff der Diversität zu verzeichnen (Breiwe, Liegmann, & Otto, 2015). Im Diversitätsbegriff wird Unterschiedlichkeit stärker vom Individuum ausgehend konstruiert, um so einer strukturellen Ausgrenzung durch sozial konstruierte Differenzlinien entgegenzuwirken (Walgenbach, 2017). Zentrale Anwendung findet der Diversitätsbegriff in Bestrebungen zur Umsetzung einer inklusiven Schulentwicklung.

Neben dem Geschlecht, dem sozialen Hintergrund oder der Ethnizität kommen vor allem im lernpsychologischen und fachdidaktischen Diskurs Aspekte von Leistungsheterogenität zum Tragen (Breiwe et al., 2015; Rabenstein & Steinwand, 2013; Zulliger & Tanner, 2013; Trautmann & Wischer, 2011). Dabei geht es vor allem um die Auseinandersetzung mit leistungsdeterminierenden Personenmerkmalen beim

Lernen. In diesem Zusammenhang lassen sich auch komplexe Wirkungszusammenhänge mit anderen, nicht kognitiven Personenmerkmalen finden (Dresel, Steuer, & Berner, 2010).

Für den Chemieunterricht besteht dabei die Herausforderung die für den Kompetenzerwerb bedeutsamen Bezüge herauszuarbeiten (Markic & Abels, 2014; Stäudel, 2009). Insbesondere die vielfältigen Ausprägungen lernrelevanter Merkmale wie bestehende Vorstellungen zu chemischen Konzepten (Gropengießer & Marohn, 2018), sprachliche Kompetenzen (Pineker-Fischer, 2015; Özcan, 2013), metakognitive Kompetenzen (Brüchner, 2007) oder das Interesse am Chemieunterricht (Gräber & Lindner, 2009) stellen immer wieder zentrale Bezugsnormen für die Forschung und Praxis im Chemieunterricht dar.

Hinweise auf empirische Belege zur Existenz und Ausprägung von Leistungsheterogenität liefern insbesondere Schulleistungsstudien. In der Studie des Programme for International Student Assessment (PISA) aus dem Jahr 2015 wurden die naturwissenschaftlichen Kompetenzen fünfzehnjähriger Schülerinnen und Schüler international erfasst. Die Ergebnisse für Deutschland zeigen eine große Varianz der Schülerleistungen in den Naturwissenschaften (Reiss et al., 2016). Spezifischere Einblicke in die fachspezifischen Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern in den einzelnen naturwissenschaftlichen Fächern liefert der Bericht zum Bildungstrend 2018 vom Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen (IQB). Im chemiebezogenen Fachwissen erreichen deutschlandweit 56,1 %, im Bereich der Erkenntnisgewinnung im Fach Chemie 63,6 % der Schülerinnen und Schüler die im Vorfeld festgelegten Regelstandards auf Kompetenzstufe III (Stanat, Schipolowski, Mahler, Weirich, & Henschel, 2019, S. 172-173). Während insbesondere am Gymnasium ein Teil der Schülerinnen und Schüler sogar über Fähigkeiten auf Niveau von Optimalstandards (Kompetenzstufe V) verfügt, scheitert ein nicht unerheblicher Teil der Schülerinnen und Schüler besonders an nichtgymnasialen Schulformen an festgelegten Mindeststandards (Kompetenzstufe I) und verfügt damit nicht über grundlegende Basiskompetenzen im Fach (Stanat et al., 2019, S. 172-173).

Die Ergebnisse aus PISA 2015 und dem IQB-Bildungstrend 2018 geben einen guten Überblick über die naturwissenschaftlichen Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern in Deutschland und betonen die Notwendigkeit eines produktiven Umgangs mit den unterschiedlichen Lerneingangsvoraussetzungen von Schülerinnen und Schülern. Sie liefern jedoch weder Erklärungsansätze für die hohe Minderleistungen auf den unteren Kompetenzniveaus oder den vergleichsweise gering ausgeprägten Anteil besonders begabter Schülerinnen und Schülern auf den höheren Kompetenzstufen noch liefern sie konkrete Vorschläge zur Verbesserung der Unterrichtspraxis. Erkenntnisse hierzu liefern Modelle zur Unterrichtsqualität, in

denen erfolgreiches Lernen auf verschiedenen Qualitätsmerkmalen in Beziehung zurückgeführt und erklärt wird.

1.2.2 Bedingungen erfolgreichen Lernens im Fach Chemie

In der Unterrichtsforschung sind Lernerfolg und Unterrichtsqualität wichtige Forschungsfelder. Ausgehend von Annahmen zum Lernen wie dem Modell schulischen Lernens von Carroll (1963) liefert die empirische Unterrichtsforschung wichtige Erkenntnisse darüber, welche Bedingungen überhaupt für erfolgreiches Lernen notwendig sind und welche Maßstäbe für Lernerfolg herangezogen werden können und sollten. Der fachdidaktischen Forschung kommt in diesem Zusammenhang die zentrale Funktion der Konkretisierung und kritischen Reflexion übergeordneter Befunde aus der allgemeinen Unterrichtsforschung zu.

Lernerfolg und Unterrichtsqualität aus Perspektive des Chemieunterrichts

Die Effektivität von Unterricht zielt im Wesentlichen auf die Erfüllung des Bildungs- und Erziehungsauftrags der Schule ab. Im Chemieunterricht liegt ein Schwerpunkt in der Entwicklung naturwissenschaftlicher Grundbildung. Erfolgreiches Lernen kann demnach als Entwicklung dazu notwendiger Kompetenzen und Einstellungen verstanden werden, die sich diagnostisch erfassen und messen lassen (Helmke, 2014; Einsiedler, 2002). Im Kontext naturwissenschaftsdidaktischer Forschung wird der Lernerfolg von Schülerinnen und Schülern häufig über Leistungstests zur Messung konzept- oder prozessbezogener Kompetenzen sowie Fragebögen zu Einstellungen erfasst (Schecker, Parchmann, & Krüger, 2014).

Der Unterricht selbst stellt ausgehend von einer kognitiv-konstruktivistischen Auffassung vom Lernen übergeordnete Strukturen bereit, in der verständnisvolles Lernen stattfinden kann (Baumert & Kunter, 2006). Diese Strukturen umfassen sowohl direkt beobachtbare Merkmale wie die gewählte Sozialform oder Methode (Oberflächenstruktur) als auch Merkmale wie die Qualität der Unterstützung oder das Frageverhalten von Lehrerinnen und Lehrern (Tiefenstruktur) (Gröschner & Kleinkecht, 2013). Für die Unterrichtsqualität sind besonders Merkmale der Tiefenstruktur von Bedeutung, die sich zu den drei Basisdimensionen Strukturierung, kognitive Aktivierung und konstruktive Unterstützung zusammenfassen lassen (Lotz & Lipowsky, 2015; Kunter & Trautwein, 2013). In den letzten Jahren hat eine Diskussion um Qualitätsmerkmale zunehmend auch aus fachspezifischer Sicht stattgefunden (Seffensky & Neuhaus, 2018). Dadurch ergibt sich ein konkreteres Bild darüber, wie sich allgemeine Annahmen zur Unterrichtsqualität im Fachunterricht zeigen

und inwiefern diese Annahmen gegebenenfalls erweitert werden müssen. Für erfolgreiches Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht konnten besonders Strukturierung und kognitive Aktivierung identifiziert werden (Steffensky & Neuhaus, 2018; Kleickmann, 2012; Klieme & Rakoczy, 2008). Dies umfasst unter anderem die Einforderung kognitiver Selbstständigkeit, die Schaffung eines angemessenen Anforderungsniveaus, das Anknüpfen an bereits vorhandene Vorstellungen, inhaltlich strukturierte Lerngelegenheiten sowie Feedback durch die Lehrkraft (vgl. Steffensky & Neuhaus, 2018). In welchem Zusammenhang diese Erkenntnisse zu fachspezifischen Prozessen wie beispielsweise dem naturwissenschaftlichen Denken und Arbeiten stehen (vgl. Klieme & Rakoczy, 2008), hat sich bereits zum Gegenstand empirischer Untersuchungen innerhalb fachdidaktischer Forschung entwickelt. So konnten für das Experimentieren im Chemieunterricht insbesondere bei angemessener Offenheit des Prozesses (Schulz, 2010; Walpuski, 2006; Berg, Bergendahl, Lundberg, & Tibell, 2003), bei dem Einsatz von Maßnahmen zur inhaltlichen Strukturierung (Schulz, 2010; Wahser, 2007) und bei einer hohen Aktivität und Beteiligung der Lernenden (Schulz, 2010) ein positiver Einfluss auf die Leistungsentwicklung der Schülerinnen und Schüler nachgewiesen werden.

Guter Unterricht ist daher nicht nur eine Frage der Lehrerpersönlichkeit, sondern vielmehr auch der Professionalität der Lehrenden und der Qualität im Unterricht ablaufender Prozesse (vgl. Gröschner & Kleinknecht, 2013). Das von Helmke (2014) entwickelte Angebot-Nutzungs-Modell folgt diesem Ansatz und beschreibt Unterrichtsqualität als ein Zusammenspiel mehrerer Faktoren (vgl. Abbildung 5). In diesem Modell spielen neben Merkmalen der Lehrperson auch Prozessvariablen und Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler eine Rolle. Die Professionalität der Lehrkraft wirkt sich weiterführend auf die Qualität des Unterrichts aus (Helmke, 2014), der den Schülerinnen und Schülern Gelegenheiten zum Lernen bietet. Wie dieses Angebot zum Lernen genutzt wird, hängt entscheidend vom Lernpotential der Schülerinnen und Schüler sowie den Kontextbedingungen wie etwa der Zusammensetzung von Lerngruppen ab.

So deuten Untersuchungen zum Einfluss der Lerngruppenzusammensetzung auf einen Vorteil von leistungshomogenen Lerngruppenzusammensetzungen für leistungsstärkere Schülerinnen und Schüler hin, während vor allem leistungsschwächere Schülerinnen und Schüler besonders von leistungsheterogenen Lerngruppenzusammensetzungen profitieren (Luyten & van der Hoeven-van Dornum, 1995; Resh & Dar, 1992; Kulik & Kulik, 1982). Auch für das Lernen in Kleingruppen innerhalb von Klassenverbänden konnten vergleichbare Effekte gefunden werden (Lou et al., 1996). In einer Untersuchung zum Einfluss von Leistungsheterogenität auf den individuellen Lernerfolg beim Mathematiklernen in der Sekundarstufe I

konnten Gröhlich, Scharenberg, & Bos (2009) jedoch zeigen, dass heterogene Lerngruppen für alle Lernenden weder ein Vorteil noch einen Nachteil beim Lernen darstellen. Eindeutige Zusammenhänge von Lerngruppenzusammensetzung und Lernerfolg finden sich hingegen auf institutioneller Ebene. Hier konnte bestätigt werden, dass Schulformen für die Leistungsentwicklung innerhalb verschiedener Fachdisziplinen differentielle Lernmilieus darstellen (Baumert, Maaz, Stanat, & Watermann, 2009; Neumann, Schnyder, Trautwein, Niggli, Lüdtke, & Cathomas, 2007).

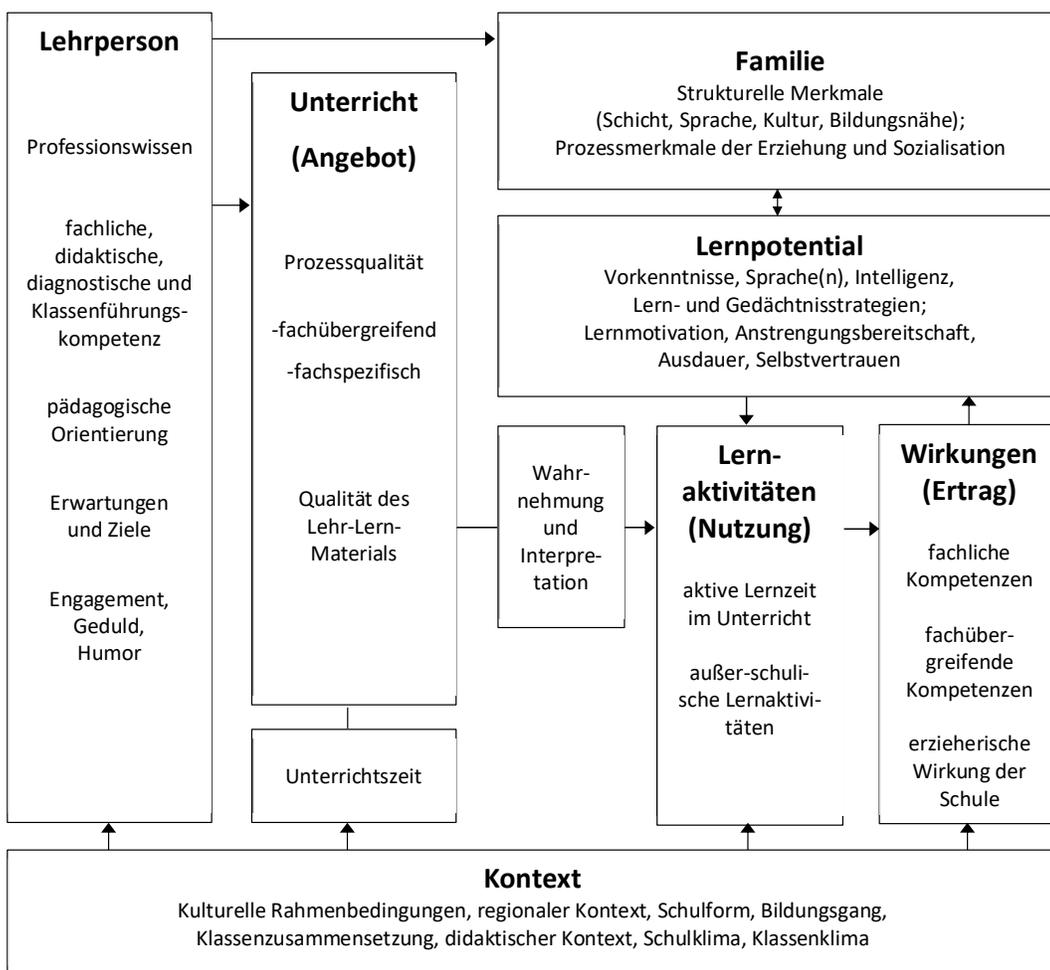


Abbildung 5: Angebot-Nutzungs-Modell zur Beschreibung von Unterrichtsqualität (Helmke, 2014, S. 71)

Mit Blick auf das Angebot-Nutzungs-Modell lässt sich die Zusammensetzung einer Lerngruppe im Wesentlichen auf das Lernpotential der Schülerinnen und Schüler zurückführen, das im Modell ebenfalls einen Einfluss auf die Lernaktivitäten hat. Zwar wird das Lernpotential von Helmke (2014) weiter in verschiedene kognitive und affektive Lernvoraussetzungen ausdifferenziert, es bleibt jedoch aus

fachspezifischer Sicht ungeklärt, welche individuellen Merkmale überhaupt von Bedeutung sind und wie genau diese auf den Lernerfolg wirken.

Individuelle Lernvoraussetzungen von Schülerinnen und Schülern

Auf welche individuellen Lernvoraussetzungen sich Schülerinnen und Schüler beim Lernen beziehen können beeinflusst maßgeblich den Lernerfolg (Helmke & Schrader, 2008). Vor allem kognitive und affektive Faktoren spielen beim Erwerb fachbezogener Kompetenzen eine entscheidende Rolle.

Eine in empirischen Untersuchungen zum erfolgreichen Lernen mehrfach identifizierte Determinante für Schulleistung ist die Intelligenz (u.a. Hattie, 2012; Helmke & Schrader, 2008; Rindermann & Neubauer, 2000). Darunter werden allgemeine kognitive Fähigkeiten verstanden, mit denen man „[...] sich an neue Situationen und Anforderungen der Umwelt anpassen und ebenso die umgebende Umwelt verändern kann (Lohaus, Vierhaus, & Maass, 2010, S. 120)“. Dies umfasst Fähigkeiten zum effektiven Denken und Problemlösen (Helmke & Schrader, 2008). Schülerinnen und Schüler mit hoch ausgeprägten kognitiven Grundfähigkeiten gelingt es so leichter, sich auf neue Lernsituationen einzustellen sowie angemessene Strategien zur Problemlösung zu entwickeln und anzuwenden (Helmke & Weinert, 1997). Ergänzend zu kognitiven Grundfähigkeiten, die den Schülerinnen und Schülern fächerübergreifend zur Verfügung stehen, ist das Vorwissen stärker auf eine Domäne beschränkt. Vorwissen beschreibt dabei die bei Schülerinnen und Schülern verfügbaren, bereichsspezifischen Kenntnisse und Fähigkeiten, die innerhalb eines Lerngegenstands bedeutsam sind (Krause & Stark, 2006; Renkl, 1996). Vorwissen weist ebenfalls eine hohe prädiktive Kraft für schulische Leistung auf (Hattie, 2012; Spada & Wichmann, 1996), die sogar größer ausfällt als für kognitiven Grundfähigkeiten (Helmke & Schrader, 2008; Renkl, 1996). Weiterhin stellt das Vorwissen aus kognitionspsychologischer Sicht eine wichtige Grundlage für Lernprozesse dar (Klauer & Leutner, 2012; Beier & Ackerman, 2005) und beeinflusst die Wahrnehmung, Verarbeitung und Speicherung von Informationen (Krause & Stark, 2006). In empirischen Untersuchungen konnte zudem bereits gezeigt werden, dass Vorwissen bis zu einem bestimmten Maß fehlende kognitive Grundfähigkeiten beim Lernen ausgleichen kann (Helmke & Schrader, 2008).

Im Chemieunterricht und für den naturwissenschaftlichen Unterricht allgemein umfasst das Vorwissen auch mit Blick auf die Bildungsziele (vgl. Abschnitt I.1.1) sowohl deklaratives wie auch prozedurales Wissen. Das deklarative Wissen von Schülerinnen und Schülern setzt sich zusammen aus dem Wissen über grundlegende Konzepte sowie Kompetenzen im Umgang mit ihnen. Auf die Lernleistung hat das

deklarative Vorwissen einen positiven Einfluss (u. a. Hauerstein, 2019; Jaeger, 2019; Löffler, 2016; Brandenburger, 2016; Anus, 2015). Defizite im Vorwissen führen häufig zu oberflächlichen Aktivitäten beim Lernen (Cook, Carter, & Wiebe, 2008) und wirken sich speziell beim Experimentieren negativ auf Aktivitäten der Erkenntnisgewinnung aus (Mulder, Lazonder, & de Jong, 2009). Gleichmaßen wirkt sich vorhandenes Vorwissen positiv auf aufgabenbezogene Aussagen zur Auswertung von Experimentierprozessen aus (Gijlers & de Jong, 2005). Zudem lassen sich differentielle Effekte ausgehend von unterschiedlich stark ausgeprägtem deklarativem Wissen bei der Effektivität von Lerngelegenheiten wie dem Lernen mit Lösungsbeispielen (Koenen, 2014) oder dem Einsatz differenzierender Maßnahmen (Anus, 2015) beobachten.

Dass deklaratives Fachwissen und Wissen über naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen unterschiedliche Kompetenzbereiche abbilden, ist empirisch bereits abgesichert (Schwichow & Nehring, 2018; Klos et al., 2008). Insofern stellt das prozedurale Wissen über Wege der Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht eine weitere Bezugsgröße für erfolgreiches Lernen dar. Stender, Schwichow, Zimmermann, & Härtig (2018) konnten hierzu bereits zeigen, dass Wissen über naturwissenschaftliches Denken und Arbeiten für einen erfolgreichen Erwerb von deklarativem Fachwissen beim eigenständigen Experimentieren unabdingbar ist. Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen deklarativem Fachwissen und prozeduralem Wissen in Bezug auf die Nutzung der Variablenkontrollstrategie zeigen weiterhin eine positive Korrelation beider Konstrukte (Schwichow & Nehring, 2018). Bezogen auf das bereichsspezifische Vorwissen muss insgesamt auch berücksichtigt werden, dass Schülerinnen und Schüler über eigene Vorstellungen zu naturwissenschaftlichen Konzepten oder Denk- und Arbeitsweisen verfügen. Diese Schülervorstellungen beeinflussen den Erwerb neuer Kompetenzen und können diesen sogar behindern (vgl. Gropengießer & Marohn, 2018; Chandrasegaran, Treagust, & Mocerino, 2007).

Ob und wie Schülerinnen und Schüler beim Lernen auf verfügbare Fähigkeiten zurückgreifen, wird maßgeblich durch affektive Faktoren beeinflusst. Dabei ist vor allem der Einfluss des individuellen Interesses auf die Lernleistung empirisch belegt (Krapp, Schiefele, & Schreyer, 1993). Da es sich beim Interesse um ein Konstrukt aus der Wechselbeziehung zwischen einer Person und einem Gegenstand handelt (vgl. Krapp, 1999), kann auch von einer positiven Wirkung des individuellen Interesses auf den Lernprozess ausgegangen werden. Dieser Zusammenhang ist in einer Untersuchung von Jansen, Lüdtke, & Schroeder (2016) in verschiedenen Domänen unter Kontrolle der kognitiven Grundfähigkeiten empirisch bestätigt worden. Im naturwissenschaftlichen Unterricht wirkt sich das individuelle Interesse vor

allem bei kognitiv aktivierenden Tätigkeiten positiv auf die Lernleistung aus (Höft, Blankenburg, & Bernholt, 2017). Mit Blick auf verschiedene Lerngegenstände ist jedoch auch bekannt, dass Schülerinnen und Schüler unterschiedliche Inhalte und Themen individuell eher bevorzugen oder als uninteressant empfinden (Gräber & Lindner, 2009). So bevorzugen Schülerinnen und Schüler mit geringem individuellem Interesse eher alltägliche Inhalte und Themen, während ein höheres Interesse bei den Schülerinnen und Schülern zu einer höheren Zufriedenheit mit Inhalten und Themen aus besonderen Kontexten führt (Habig, 2017). Auch beim Experimentieren ist der Einfluss affektiver Faktoren für erfolgreiches Lernen belegt. Van Schijndel, Jansen, & Raijmakers (2018) konnten hierzu den Einfluss der Neugier beim forschenden Lernen nachweisen.

Der Einfluss kognitiver und affektiver Lernvoraussetzungen auf das Lernen in den Naturwissenschaften ist damit empirisch abgesichert. Damit stehen Lehrerinnen und Lehrer vor der komplexen Herausforderung, mit diesen Erkenntnissen geeignete Lehr- und Lernsituationen zu gestalten, um die „[...] zur Erfüllung des Bildungs- und Erziehungsauftrages [der Schule] erforderlichen Kenntnisse, Fähigkeiten, Fertigkeiten und Werthaltungen [zu vermitteln] und [...] dabei die individuellen Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler [zu berücksichtigen].“ (Schulgesetz NRW, §2 (4)). Darin drückt sich letztlich ein Bestreben zur Individualisierung von Lernprozessen aus, was nur über geeignete Strategien zum produktiven Umgang mit Heterogenität umgesetzt werden kann.

1.2.3 Differenzierung und Individuelle Förderung im Fach Chemie

Schülerinnen und Schüler angemessen und entsprechend ihrer individuellen Lernvoraussetzungen zu fördern ist seit jeher eine wichtige Leitlinie im Handlungsfeld Schule. Das Bestreben der zunehmenden Heterogenität und den damit verbundenen Herausforderungen und Potentialen produktiv und wertschätzend zu begegnen, führt unweigerlich zu einer Auseinandersetzung mit den in vielfältigen Zusammenhängen verwendeten Begriffen der Differenzierung und individuellen Förderung. Ausgehend von einer konzeptionellen Betrachtung und Verortung innerhalb des Diskurses einer Individualisierung von Lernprozessen, werden im Folgenden grundlegende Prinzipien beschrieben, die als tragfähige Grundlage häufig Anwendung finden. Abschließend werden allgemeine sowie fachspezifische Befunde mit der Forderung eines individualisierten Unterrichts in Beziehung gesetzt.

Begriffliche Bestimmungen und grundlegende Prinzipien

Im Diskurs zum produktiven Umgang mit Heterogenität, insbesondere im Rahmen inklusiver Schulentwicklung, gewinnt die Forderung nach einer Individualisierung von Lernprozessen stetig an Bedeutung. Dabei beschreibt eine Individualisierung von Lernprozessen die Ausrichtung schulischer Lehr- und Lernsettings an den individuellen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler (Helmke, 2013). Zur Umsetzung stehen verschiedene Strategien der Differenzierung und Individuellen Förderung zu Verfügung (Helmke, 2013). Während unter Differenzierung eher die kriteriengeleitete Bereitstellung gestufter Lerngelegenheiten für bestimmte Gruppen verstanden wird (Bönsch, 2011; Klafki & Stöcker, 2007), umfasst Individuelle Förderung eine Ausrichtung des Lernens an den Bedürfnissen jedes einzelnen Lernenden (Klieme & Warwas, 2011; Eckert, 2004). Individuelle Förderung stellt damit eine Extremform von Differenzierung dar (Bohl, Batzel, & Richey, 2012). Differenzierung ist im deutschen Schulsystem auf unterschiedlichen Ebenen strukturell verankert (Trautmann & Wischer, 2011; von der Groeben, 2003). Die Gliederung der Sekundarstufe in unterschiedliche Schulformen wird allgemein als Maßnahme einer äußeren Differenzierung bezeichnet (Trautmann & Wischer, 2011). Auf der Ebene des Unterrichts spielen stärker Maßnahmen einer inneren Differenzierung eine Rolle (Grunder, 2012; Klafki & Stöcker, 2007). In den letzten Jahren wird die Diskussion um Maßnahmen zur Differenzierung zunehmend durch die Umsetzung individueller Förderung im Unterricht abgelöst. Dumont (2019) kommt in einer konzeptionellen Betrachtung individueller Förderung zu dem Schluss, dass mit dem Begriff häufig ein nicht klar beschriebenes und wenig konkretes Konzept beschrieben wird, das einer Vielzahl von Schwerpunktsetzungen unterliegt. Insgesamt stellt sich individuelle Förderung jedoch als eine übergeordnete Strategie zur Gestaltung von Lerngelegenheiten unter Berücksichtigung individueller Lernvoraussetzungen dar, die von verschiedenen Prinzipien geprägt sind (Dumont, 2019; Hofman, 2000). Diese werden unter anderem in der von Kallweit & Melle (2016) verwendeten Konzeption individueller Förderung als „[...] das Einrichten von Lernarrangements, die an die diagnostizierten Bedürfnisse jeder einzelnen Schülerin und jedes einzelnen Schülers adaptiert sind und somit optimale Voraussetzungen und Unterstützung für einen individuellen Lernprozess bieten, wobei die Lernenden als aktive Gestalter des eigenen Lernprozesses gesehen werden, die Verantwortung für ihren Lernerfolg übernehmen.“ (Kallweit & Melle, 2016, S. 145) deutlich.

Ausgangspunkt für eine Individualisierung des Unterrichts bilden differenzierende Lernarrangements, mit denen die Schülerinnen und Schüler auf ihrem individuellen Anforderungsniveau lernen können. Dies umfasst auch geeignete Maßnahmen zur Unterstützung und Förderung. Lernangebote können grundsätzlich methodisch (u.

a. Art der Aufgabenstellung), medial (u. a. Art des Arbeitsmaterials), inhaltlich (u. a. Inhalte und Themen von Aufgaben), quantitativ (u. a. Umfang der zu bearbeitenden Aufgaben) oder qualitativ (u. a. Niveau der Aufgabenstellung) differenziert werden (Brüning & Saum, 2010; Bräu, 2005). Grundlegend für Maßnahmen einer qualitativen Differenzierung ist die Auseinandersetzung mit den Bildungszielen eines Fachs. Hier können mit Blick auf unterschiedliche Kompetenzbereiche und Kompetenzausprägungen eine individuelle Schwerpunktsetzung bei den Zielvorgaben jeder einzelnen Schülerin und jedes einzelnen Schülers vorgenommen werden (Vock & Gronostaj, 2017). Diese muss sich jedoch mit dem übergeordneten Bildungsziel eines Faches vereinbaren lassen sowie die Balance zwischen Individualität und allgemeinen Bildungszielen bewahren (Scheunpflug, 2008). Im Kontext des inklusiven Unterrichts wird hier vor allem das Lernen am gemeinsamen Gegenstand diskutiert (vgl. Feuser, 1998).

Der Selbst- und Mitbestimmung der Schülerinnen und Schüler beim Lernen fällt bei der Umsetzung differenzierender Lernarrangements eine entscheidende Rolle zu (Bohl & Kucharz, 2010). Damit wird letztlich eine Öffnung von Lernprozessen zum zentralen Prinzip für individualisiertes Lernen (Dumont, 2019; Altrichter, Trautmann, Wischer, Sommerauer, & Doppler, 2009). Diese kann unter anderem über den Einsatz von Aufgaben beim Lernen umgesetzt werden, indem eine Aufgaben- oder Fragestellung erst eigenständig entwickelt und formuliert werden muss oder der Lösungsweg selbstständig erarbeitet werden muss (Leisen, 2006). Für Experimentiersituationen beschreibt Priemer (2011) ein Modell zur gezielten Öffnung von Lernprozessen beim Experimentieren. So können unter anderem einzelne Phasen des Experimentierens durch das Auslassen konkreter Handlungsweisen geöffnet werden (vgl. hierzu auch Banchi & Bell, 2008). Im Zusammenhang mit einer Öffnung des Unterrichts wird auch die stärkere Umsetzung kooperativer Lernsettings gefordert (Brüning & Saum, 2010; Altrichter et al., 2009), da sich eine kooperative Gestaltung von Lernprozessen nachweislich positiv auf den Lernerfolg auswirkt (Hattie, 2012).

Entscheidend für den Erfolg individualisierter Lernprozesse ist die Passung zwischen individuellen Lernvoraussetzungen und dem Lernangebot (Arnold & Richert, 2008). Konzeptionell wird eine solche Passung im pädagogischen Diskurs unter einer adaptiven Lernprozessgestaltung gefasst und beschreibt die optimale Passung zwischen den Lernenden und den Lerngelegenheiten (Wagner, 2016; Hertel, 2014; Helmke, 2013). Diese kann auf der Ebene von Gruppen und Klassen (Makro-Adaptionen) und im Unterrichtsgeschehen für einzelne Schülerinnen und Schüler (Mikro-Adaptionen) umgesetzt werden (Corno, 2008). Mikro-Adaptionen im Unterricht können dabei weitgehend über eine geeignete Gestaltung des

Lernmaterials im Vorfeld sowie durch angemessenes Lehrerhandeln während des Unterrichts erreicht werden (Wagner, 2016). Beides setzt ein grundlegendes Maß an diagnostischer Kompetenz voraus, um geeignete Lerngelegenheiten bereitzustellen und Schülerinnen und Schüler angemessen unterstützen zu können (Schrader, 2013).

Lernprozess- und Leistungsdiagnostik

Diagnostik im pädagogischen Sinne beschreibt „[...] alle diagnostischen Tätigkeiten, durch die bei einzelnen Lernenden und den in einer Gruppe Lernenden Voraussetzungen und Bedingungen planmäßiger Lehr- und Lernprozesse ermittelt, Lernprozesse analysiert und Lernergebnisse festgestellt werden, um individuelles Lernen zu optimieren.“ (Lissmann & Jürgens, 2015, S. 58). Bestimmt werden diagnostische Tätigkeiten durch den in den Blick genommenen Gegenstand, dem Ziel der Diagnose sowie den zugrunde gelegten Methoden (von Aufschnaiter et al., 2015). Innerhalb pädagogischer Diagnostik im schulischen Kontext wird hierbei häufig zwischen einer statusbezogenen (summativen Statusdiagnostik) und einer prozessorientierten (formativen Lernprozessdiagnostik) Diagnostik unterschieden (Lissmann & Jürgens, 2015; Schrader, 2013; Shavelson et al., 2008; Horstkemper, 2006). In Abbildung 6 sind die verschiedenen Anlässe zur Diagnostik im Unterricht in Bezug auf eine Differenzierung zwischen einer statusbezogenen (A) und prozessorientierten Diagnostik (B - D) zueinander in Beziehung gesetzt worden.

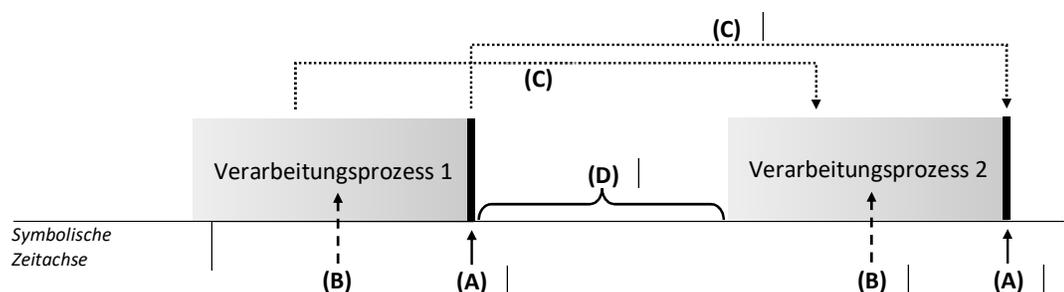


Abbildung 6: Übersicht diagnostischer Anlässe im Unterricht (nach von Aufschnaiter et al., 2015, S. 747)

Während der Statusdiagnostik (A) als abschließende und situationsbezogene diagnostische Aktivität eindeutige Anlässe zugrunde liegen, kann eine prozessorientierte Diagnostik grundsätzlich verschiedene Perspektiven abbilden. Zu diesem Zweck unterscheiden von Aufschnaiter et al. (2015) Verfahren der prozessorientierten Diagnostik weiter in Prozessdiagnostik (B), Veränderungsdiagnostik (C) und Verlaufsdagnostik (D). Auf diese Weise lassen sich Lern- und Leistungssituationen

bereits durch die Zielsetzung der Diagnostik voneinander trennen und ein differenzierteres Bild über unterschiedliche Facetten beim Lernen sowohl über kurze als auch lange Zeiträume präzise erfassen (von Aufschnaiter et al., 2015).

Je nach Zielsetzung kann Diagnostik formell durch standardisierte Verfahren und Bezugsnormen oder eher informell durch spontane diagnostische Aktivitäten der Lehrkraft erfolgen (Hesse & Latzko, 2017). Allgemein stehen dazu verschiedene Methoden zur Verfügung. Während in der Statusdiagnostik häufig Tests und Fragebögen zum Einsatz kommen, bieten Gespräche und Beobachtungen bewährte Methoden für die Analyse von Lernprozessen (Hesse & Latzko, 2017; Shavelson et al., 2008). Zur Konkretisierung des einer Diagnose zugrunde liegenden Gegenstands finden in den letzten Jahren, insbesondere im Zusammenhang mit der Erfassung und Messung von Kompetenzen, zunehmend Kompetenzmodelle Anwendung (Spöttl, 2011; Koepen, Hartig, Klieme, & Leutner, 2008). Diese lassen sich grundlegend in Kompetenzstrukturmodelle und Kompetenzentwicklungsmodelle (Sumfleth & Walpuski, 2018; Hartig & Klieme, 2006) unterteilen. Dabei werden der Diagnose von Kompetenzen prüfbare Modelle zugrunde gelegt, die eine systematische Beschreibung und Operationalisierung möglich machen. Gleichzeitig können Kompetenzmodelle eine gute Grundlage für pädagogisches Handeln, insbesondere mit Blick auf Diagnose und Förderung, bieten.

Die Fähigkeit, Verfahren der pädagogischen Diagnostik im Unterricht kompetent einsetzen zu können, stellt eine zentrale Facette professioneller Handlungskompetenz von Lehrkräften dar (Harms & Riese, 2018; Baumert & Kunter, 2006). Dies umfasst unter anderem Kompetenzen zur Diagnose individueller Lernvoraussetzungen, Einschätzungen zu Lernfortschritten und Problemen beim Lernen sowie die Fähigkeit, Anforderungsniveaus von Lernsettings abschätzen und konstruieren zu können (vgl. Helmke, 2013, Schrader, 2013). Dass die diagnostische Kompetenz von Lehrkräften Einfluss auf die Qualität des Unterrichts und die Leistung der Schülerinnen und Schüler hat, ist bereits hinlänglich bekannt (Helmke, 2013; Hattie, 2012). Deshalb ist in den letzten Jahren die diagnostische Kompetenz von Lehrerinnen und Lehrern auch zunehmend zum Gegenstand der Unterrichtsforschung geworden. Hintergrund hierfür ist unter anderem, dass Rückmeldungen essentiell für erfolgreiches Lernen sind (Hattie, 2012) und eine diagnostische Begleitung des Lernprozesses dafür unabdingbar ist (vgl. Shavelson et al., 2008).

Im Zusammenhang mit einer Individualisierung von Lernprozessen findet sich hier vor allem eine Auseinandersetzung mit der adaptiven Lehrkompetenz von Lehrkräften. Beck et al. (2008) fassen adaptive Lehrkompetenz konzeptionell als die Fähigkeit von Lehrerinnen und Lehrern, mit der sie die individuellen Lernvoraussetzungen von Schülerinnen und Schülern in die Planung und Durchführung des

Unterrichts integrieren und stetig danach ausrichten. Rogalla & Vogt (2008) konnte durch ein spezifisches Training die adaptive Lehrkompetenz von Lehrerinnen und Lehrern fördern und zeigen, dass sich eine hohe adaptive Lehrkompetenz positiv auf den Lernerfolg von Schülerinnen und Schülern auswirkt. Zu einem ähnlichen Befund kommt auch Brühwiler (2014) zur Förderung und Bedeutsamkeit der adaptiven Lehrkompetenz.

Auch für den naturwissenschaftlichen Unterricht liegen bereits Erkenntnisse zur diagnostischen Kompetenz von Lehrkräften vor. Cappell (2013) untersuchte die diagnostische Kompetenz von angehenden Physiklehrkräften zu verschiedenen Themengebieten. Die Ergebnisse machen deutlich, dass die diagnostische Kompetenz abhängig vom betrachteten Themengebiet ist und demnach auch sehr unterschiedlich ausfällt (Cappell, 2013). Darüber hinaus deuten die gefundenen Effekte darauf hin, dass zur Entwicklung diagnostischer Kompetenz von Lehrkräften im Fachunterricht hinreichend viele und geeignete Lerngelegenheiten notwendig sind (Cappell, 2013). Dass diagnostische Kompetenz von Lehrerinnen und Lehrern sehr unterschiedlich ausfällt konnte Draude (2016) ebenfalls zeigen. In seiner Untersuchung der diagnostischen Kompetenz von Physiklehrkräften zum Hook'schen Gesetz hatten viele Lehrerinnen und Lehrer Defizite darin, themenspezifische Schwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern beim eigenständigen Experimentieren im Vorfeld zu benennen und diese im Arbeitsprozess zu erkennen (Draude, 2016). Die Ergebnisse weisen enge Bezüge zu den Ergebnissen einer Untersuchung von Dübbelde (2013) im Fach Biologie auf. Hier wurde untersucht, über welche Kompetenzen angehende Biologielehrkräfte bei der Diagnose von Experimentiersituationen verfügen. Besonders die Lernprozessdiagnose bereitete vielen Lehrkräften Schwierigkeiten. Insbesondere die Beurteilung von Schülerleistungen zur Planung einer Untersuchung stellte sich als Herausforderung dar, während der Bereich der Auswertung von Daten weniger schwierig zu sein scheint (Dübbelde, 2013). Mit Blick auf einen produktiven Umgang mit Heterogenität liefern die Erkenntnisse aus einer qualitativen Untersuchung von Tolsdorf & Markic (2018) Einblicke in einzelne Facetten diagnostischer Kompetenz von angehenden Chemielehrkräften. Diese sehen in der zunehmenden Heterogenität eine große Herausforderung und beschränken ihre Sichtweise häufig auf die Differenzlinien Sprache und Leistung (Tolsdorf & Markic, 2018). Hinsichtlich der zur Verfügung stehenden Methoden zur Diagnose im Chemieunterricht werden Unterrichtsbeobachtungen als weniger wichtig erachtet (Tolsdorf & Markic, 2018), obwohl diese eine wichtige Grundlage für eine den Lernprozess begleitende Diagnose liefern (Shavelson et al., 2008). Insgesamt liefern die Erkenntnisse zur Lernprozess- und Leistungsdiagnostik zur Individualisierung von Lernprozessen zwar wichtige Erkenntnisse, im Sinne einer

adaptiven Lernprozessgestaltung kommt der Qualität zur Verfügung stehender Förder- und Unterstützungsangebote jedoch eine ebenso große Bedeutung zu.

Empirische Befunde zur Individualisierung von Lernprozessen

Zu verschiedenen Strategien einer Individualisierung des Unterrichts liegt bereit eine Vielzahl an Erkenntnissen aus empirischen Untersuchungen vor. Die Befundlage stellt sich jedoch als sehr inkonsistent und wenig belastbar für den Fachunterricht dar (Rabenstein & Wischer, 2016; Bohl et al., 2012; Trautmann & Wischer, 2007). Ein Erklärungsansatz hierfür könnte die Unterschiedlichkeit in der Konzeption und Umsetzung von Individualisierung im Unterricht sein, sodass die Ergebnisse unterschiedlicher Untersuchungen auch nur schwer miteinander vergleichbar sind (Dumont, 2019). In einer Metastudie von Kulik & Kulik (1982) konnte für den Einsatz differenzierender Lernangebote in unterschiedlichen Kontexten nur ein kleiner Effekt in Bezug auf die Lernleistung gefunden werden. Die Effektivität differenzierender Lernangebote beschränkt sich dabei oft auf besonders leistungsstarke Schülerinnen und Schüler (Kulik & Kulik, 1982). Diese Erkenntnisse decken sich mit den Ergebnissen zur Effektivität von Individualisierung (individualized instruction) der von Hattie (2012) durchgeführten Metastudie zu Einflussfaktoren auf den schulischen Lernerfolg. Allerdings zeigte sich hier aber auch, dass sich eine Berücksichtigung individueller Lernvoraussetzungen im Unterricht (strategy to integrate prior knowledge) in hohem Maße positiv auf die Lernleistung der Schülerinnen und Schüler auswirkt (Hattie, 2012). In einer Untersuchung zum Einsatz differenzierender Maßnahmen in unterschiedlichen Fächern zeigten sich in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern sogar negative Effekte auf den Lernerfolg (Gruehn, 2000). Da Maßnahmen zur Differenzierung oft zeitlich anspruchsvoll sind, könnte die dadurch reduzierte aktive Lernzeit für die gefundenen Effekte ursächlich sein (Gruehn, 2000).

Ausgehend von übergeordneten Befunden liegen auch spezifischere Erkenntnisse zur Individualisierung von Lernprozessen in den naturwissenschaftlichen Fächern vor. Gleichzeitig sind hier jedoch nur einzelne Untersuchungen zu spezifischen Themen durchgeführt worden und die Ergebnisse stellen sich als ebenso wenig eindeutig wie im allgemeinen Diskurs dar. Zur individuellen Förderung im Chemieunterricht zum Basiskonzept Chemische Reaktion am Gymnasium liefert die Untersuchung von Anus (2015) erste Einblicke in die Effektivität von fachspezifischen Individualisierungsstrategien. Im Vergleich zu einer strukturierten (Bearbeitung der Aufgaben in einer nach Inhalt und Sachstruktur geordneten Reihenfolge) und einer willkürlichen Bearbeitung der Aufgaben führte eine diagnosegestützte Bearbeitung

von Aufgaben zu keinem grundsätzlichen Vorteil für den Lernerfolg (Anus, 2015). Eine individuellere Betrachtung der Datengrundlage nach dem Leistungsniveau der Schülerinnen und Schüler lässt jedoch den Schluss zu, dass besonders leistungsstarke Schülerinnen und Schüler von den zur Verfügung stehenden Lerngelegenheiten profitieren (Anus, 2015).

Eine vergleichende Untersuchung zum Einsatz von Maßnahmen zur Strukturierung und Differenzierung im Chemieunterricht zum Thema Atombau an Gymnasien führte Hauerstein (2019) durch. Die Schülerinnen und Schüler lernten dabei im regulären Chemieunterricht, der entweder durch passendes Lernmaterial strukturiert wurde (Strukturierung), individuelle Übungsphasen enthielt (Differenzierung), sowohl durch strukturierendes Lernmaterial als auch individuelle Übungsphasen geprägt war (Strukturierung & Differenzierung) oder keine besonderen Unterschiede zum regulären Unterricht aufwies (keine Maßnahmen). Während die Nutzung differenzierender Maßnahmen keinen Effekt auf den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler hat, führen Maßnahmen zur Strukturierung von Lernprozessen zu einer Steigerung des Lernerfolgs (Hauerstein, 2019).

Inwieweit sich eine stärkere Beteiligung der Schülerinnen und Schüler an der Diagnose zur Aufgabenzuordnung auf den Lernerfolg auswirkt, untersuchte Kallweit (2015) in einer Untersuchung zur Nutzung von Selbsteinschätzungsbögen zur individuellen Förderung im Chemieunterricht. Hierzu bearbeiteten Schülerinnen und Schüler am Gymnasium Aufgaben zum Basiskonzept Chemische Reaktion entweder auf der Grundlage eigener Entscheidungen oder geführt durch Selbsteinschätzungsbögen. Die Ergebnisse belegen einen Vorteil beim Lernen durch die Integration von Selbsteinschätzungsbögen zur Bearbeitung von Lernaufgaben (Kallweit, 2015).

Untersuchungen mit explizitem Bezug zum Lernen im experimentellen Chemieunterricht sind mit Blick auf die ohnehin schon begrenzte Befundlage zur Individualisierung von Lernprozessen in den naturwissenschaftlichen Fächern selten. Für das Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben im Chemieunterricht an Gymnasien konnte Walpuski (2006) zeigen, dass Feedback durch die Lehrkraft während und nach dem Experimentieren besonders positiv auf die Lernleistung der Schülerinnen und Schüler wirkt. Werden Schülerinnen und Schüler am Gymnasium explizit in der Nutzung von Strukturierungshilfen geschult, können diese ihren Lernprozess eigenständig besser strukturieren, was ebenfalls zu einem höheren Lernerfolg führt (Wahser, 2007). Solche Maßnahmen sind jedoch primär auf eine globale Unterstützung aller Lernenden in Bezug auf den hohen Grad an Offenheit der Lernumgebung zu beziehen und sind weniger auf eine differenzierende Berücksichtigung individueller Lernvoraussetzungen ausgelegt. Ausgehend von der geringen

Beteiligung von Schülerinnen und Schülern der Haupt- und Gesamtschulen an Chemiewettbewerben entwickelte Groß (2013) ein alternatives Dokumentationsformat, mit dem Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren entsprechend ihrer Fähigkeiten den Experimentierprozess dokumentieren konnten.

Aussagen darüber, inwieweit eine Individualisierung im naturwissenschaftlichen Unterricht ausgeprägt ist, liefern die Ergebnisse aus Schülerbefragungen zum naturwissenschaftlichen Unterricht in der PISA-Studie 2015. Eine Anpassung des Unterrichts an den eigenen, individuellen Bedürfnissen (Differenzierung) sowie eine am individuellen Lernfortschritt orientierte Beratung (Rückmeldung) wird von den deutschen Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich als kaum bis wenig vorhanden wahrgenommen (Reiss et al., 2016). Insbesondere bei Schülerinnen und Schülern nichtgymnasialer Schularten scheint eine Differenzierung des Unterrichts weniger optimal zu gelingen als an Gymnasien (Reiss et al., 2016).

I.3 Ausgangslage zur Untersuchung

Lehren und Lernen findet auch im Chemieunterricht in zunehmend heterogenen Lerngruppen statt. Die individuellen Lernvoraussetzungen, auf die sich Schülerinnen und Schüler beim Lernen beziehen, umfassen dabei viele unterschiedliche Schülermerkmale und stehen in einem engen Zusammenhang zum Lernerfolg im Fachunterricht (Helmke, 2013). Insofern kommt einer Individualisierung von Lernprozessen auch im Chemieunterricht besondere Bedeutung zu. Gleichzeitig muss der Fachunterricht auch übergeordneten Ansprüchen an festgelegte Bildungsziele gerecht werden, die im Chemieunterricht die Entwicklung und Förderung von Kompetenzen hinsichtlich einer naturwissenschaftlichen Grundbildung umfasst (KMK, 2005). Individualisierung muss im Chemieunterricht daher im Spannungsfeld zwischen individuellen Bezugsnormen beim Lernen auf der einen und verbindlichen Bildungszielen auf der anderen Seite gerecht werden. Berücksichtigt man vor diesem Hintergrund die besondere Bedeutung von Experimentierphasen für das Lernen im Chemieunterricht (vgl. u.a. Lederman et al., 2013; Wirth et al., 2008), ist eine Individualisierung des Unterrichts besonders beim Experimentieren von zentraler Bedeutung. Da es sich beim Experimentieren um eine für die naturwissenschaftlichen Fächer spezifische Methode handelt, die sich zudem noch deutlich von anderen Formaten des Lernens unterscheidet, sind Strategien zur

Individualisierung von Lernprozessen beim Experimentieren entsprechend spezifisch zu gestalten.

Das eigenständige Experimentieren mit kooperativen Experimentieraufgaben bietet hier eine geeignete Grundlage, um Lernprozesse auch beim Experimentieren stärker an den individuellen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler auszurichten. Die im Diskurs zur Individualisierung von Unterricht immer wieder geforderte Offenheit von Lernumgebungen sowie stärkere Ausrichtung auf kooperative und schülerorientierte Lernformate (vgl. Altrichter et al., 2009) geht bereits in der Konzeption kooperativer Experimentieraufgaben auf. Zudem erlaubt die hohe Schülerorientierung eine stärkere Steuerung von Lernprozessgestaltung und Lerntempo durch die Schülerinnen und Schüler selbst. Dadurch kann die Lehrkraft eine stärker lernprozessbegleitende Rolle einnehmen, indem diagnostische Aktivitäten und Rückmeldungen seitens der Lehrkraft in den Vordergrund treten (vgl. Langlet, 2008). Dies setzt Wissen über typische Lernaktivitäten und Schwierigkeiten voraus. Weiterhin besteht die Möglichkeit verschiedene Unterstützungsmaßnahmen in den Experimentierprozess zu implementieren (vgl. u.a. Walpuski, 2006; Wahser, 2007; Knobloch, 2010). Sowohl die Effektivität kooperativer Experimentieraufgaben (u.a. Rumann, 2005) als auch das Wissen über Schüleraktivitäten (u.a. Gut-Glanzmann & Mayer, 2018) und Schwierigkeiten (u.a. Kechel, 2016; Baur, 2018) beim eigenständigen Experimentieren sind empirisch gut belegt.

Im Gegensatz dazu stellt sich die Forschungslage zur Individualisierung von Lernprozessen im Chemieunterricht als eher unbefriedigend dar. Zwar stehen zur Messung unterschiedlicher Lernvoraussetzungen viele bereits bewährte Instrumente und Verfahren zur Verfügung (vgl. u.a. Mannel, 2010; Emden, 2010; Fechner, 2009), konkrete Maßnahmen zur Individualisierung von Lernangeboten im Chemieunterricht sind jedoch weiterhin selten. Die wenigen Untersuchungen zeigen in diesem Zusammenhang eher keinen bedeutsamen Vorteil individualisierender Lernangebote beim Lernen (vgl. Hauerstein, 2019; Anus, 2015) und beziehen sich ausschließlich auf Schülerinnen und Schüler am Gymnasium. Es besteht somit expliziter Bedarf, Erkenntnisse zur Individualisierung im Chemieunterricht auch an nichtgymnasialen Schulformen gewinnen, da sich vor allem hier ein eher ungünstiges Leistungsbild in Bezug auf naturwissenschaftliche Kompetenzen zeigt (vgl. et al., 2019; Reiss et al., 2016) und Schülerinnen und Schüler im Vergleich zum Gymnasium bisherige Bemühungen zur Differenzierung und Unterstützung als unzureichend wahrnehmen (vgl. Reiss et al., 2015).

Zu Individualisierungsstrategien beim schülerorientierten Experimentieren im Chemieunterricht stellt sich die Forschungslage als unzureichend und wenig belastbar dar. Hier fehlt es bisher an hinreichend konkreten Vorschlägen zu Maßnahmen

sowie an Erkenntnissen zu bedeutsamen Bezugsnormen bei der Bereitstellung differenzierender Lernangebote, da das Vorwissen beim Experimentieren nicht ausschließlich auf konzeptbezogenes Wissen oder kognitive Fähigkeiten beschränkt ist, sondern auch prozessbezogene Fähigkeiten und Fertigkeiten umfasst. Beim eigenständigen Experimentieren gewinnen zudem die Lernaktivitäten sowie Schwierigkeiten bei der Bearbeitung an Bedeutung. In welchem Zusammenhang diese zum Lernerfolg beim Experimentieren stehen und wie Aktivitäten auf der Prozessebene (Lernaktivitäten und Schwierigkeiten) davon beeinflusst werden, ist bisher weitestgehend unbekannt.

Voraussetzung für die Effektivität individualisierender Lernsettings ist die Passung von zur Verfügung gestelltem Lernangebot und den individuell verfügbaren Lernvoraussetzungen (vgl. Dumont, 2019). Dazu ist es notwendig das Lernangebot bereits im Vorfeld an den individuellen Bedürfnissen der Schülerinnen und Schüler auszurichten (Makroadaptionen). Dies kann unter anderem durch im Vorfeld zugewiesene Unterstützungsangebote oder Änderungen am Lernformat gelingen. Ergänzend hierzu müssen Schülerinnen und Schüler auch während der Bearbeitung angemessen unterstützt werden (Mikroadaptionen). Als grundlegend hierfür kann das Wissen über die Zusammenhänge zwischen individuellen Lernvoraussetzungen und schülerbezogenen Lernaktivitäten sowie typischen Schwierigkeiten angesehen werden (vgl. Gold, 2016). Übergeordnet tragen Erkenntnisse hierzu auch zur Beschreibung von Qualitätsmerkmalen zur Gestaltung individualisierender Lernsettings beim Experimentieren bei und können als Ausgangslage für konkrete Umsetzungsvorschläge genutzt werden.

II DARSTELLUNG DER UNTERSUCHUNG

II.1 Zielsetzung der Untersuchung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Zusammenhänge zwischen individuellen Lernendenmerkmalen und dem individuellen Lernerfolg von Schülerinnen und Schülern beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben im Fach Chemie der Sekundarstufe I zu untersuchen. Aus der empirischen Befundlage sind hier bereits Schülermerkmale bekannt, die allgemein das Lernen im Fachunterricht beeinflussen. In dieser Untersuchung werden besonders jene Merkmale untersucht, die einen engen Bezug zum Lernen beim Experimentieren aufweisen (vgl. Kapitel I.2.2). In einem ersten Schritt ist es zunächst notwendig, Messverfahren zu entwickeln, mit denen sich die untersuchten Merkmale überhaupt wissenschaftlich präzise genug operationalisieren und messen lassen. Da verschiedene Merkmale auf unterschiedlichen Ebenen in den Blick genommen werden, erfolgt eine differenzierte Betrachtung in zwei zueinander in Beziehung stehenden Fragestellungen.

Fragestellung 1a *Wie lassen sich die für das Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben relevanten Lernendenmerkmale „kognitive Grundfähigkeiten“, „konzeptbezogenes Fachwissen in der Chemie“, „prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren“ und verschiedene affektive Faktoren unter besonderer Berücksichtigung heterogener Lerngruppen angemessen erfassen?*

Fragestellung 1b *Welche Lernaktivitäten und Schwierigkeiten lassen sich beim Einsatz kooperativer Lernaufgaben zu unterschiedlichen Inhalten im Chemieunterricht unter besonderer Berücksichtigung des Lernens in heterogenen Lerngruppen beobachten und wie lassen sich diese angemessen erfassen?*

Während zur Beantwortung von Fragestellung 1a die Zusammenstellung beziehungsweise Entwicklung und Evaluation von geeigneten Leistungstests und Fragebögen im Vordergrund steht, wird in Fragestellung 1b der Lernprozess selbst mit

Hilfe prozessbezogener Diagnostik zum Gegenstand der Untersuchung. Hier werden die Arbeitsphasen dahingehend untersucht, welche Lernaktivitäten die Schülerinnen und Schüler bei der Bearbeitung kooperativer Experimentieraufgaben anwenden und welche Schwierigkeiten dabei auftreten. Der besondere Fokus soll dabei auf einer möglichst umfassenden und differenzierenden Betrachtung liegen, um den Bedingungen des Lernens in heterogenen Lerngruppen gerecht zu werden. Insgesamt werden hierzu verschiedene Verfahren der quantitativen und qualitativen Forschung angewendet.

Die Erkenntnisse aus der Auseinandersetzung mit den Forschungsfragen 1a und 1b dienen als Grundlage zur Analyse der Zusammenhänge verschiedener Faktoren und deren Wirkung auf den individuellen Lernerfolg von Schülerinnen und Schülern über unterschiedliche Inhaltsbereiche hinweg.

Fragestellung 2 *In welchem Zusammenhang stehen individuelle Lernvoraussetzungen, aufgabenbezogene Lernaktivitäten, Schwierigkeiten und der individuelle Lernerfolg von Schülerinnen und Schülern beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben im Chemieunterricht?*

Zur Beantwortung von Fragestellung 2 werden eine qualitative und quantitative Forschungsperspektive miteinander verschränkt, um aus einem breiten Verständnis zu Determinanten von Schulleistung heraus die für erfolgreiches Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben relevanten Einflussfaktoren zu identifizieren. Als Lernerfolg wird in dieser Untersuchung ausschließlich die Entwicklung des konzeptbezogenen Fachwissens näher betrachtet, da sich dieses unmittelbar auf die Lerngegenstände der Experimentieraufgaben bezieht und der Erwerb konzeptbezogenen Wissens für eine naturwissenschaftliche Grundbildung als besonders zentral angesehen werden kann. Die Erkenntnisse aus der Beantwortung der vorangegangenen Fragestellung bietet abschließend die Möglichkeit, evidenzbasierte Hinweise zur Optimierung der Passung zwischen individuellen Lernvoraussetzungen und Maßnahmen zur Individualisierung abzuleiten. Insgesamt sollen mit der Untersuchung neue Zugänge sowohl für die Unterrichtspraxis als auch für die naturwissenschaftsdidaktische Forschung hinsichtlich der Gestaltung individualisierter Lehr- und Lernsettings zum Experimentieren im Chemieunterricht eröffnet werden. Gleichzeitig können auch Bezüge zur Weiterentwicklung und Optimierung von fachspezifischen Merkmalen von Unterrichtsqualität hergestellt werden.

II.2 Design und Struktur der Untersuchung

Zur Beantwortung der Forschungsfragen fand die Untersuchung in zwei in aufeinander aufbauenden Studien statt. In der Vorstudie wurde die in der ersten Forschungsfrage aufkommende Rekonstruktion von Lernaktivitäten und Schwierigkeiten beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben vorgenommen und ein Verfahren entwickelt, um diese unter besonderer Berücksichtigung heterogener Lerngruppen angemessen und hinreichend genau erfassen zu können. Darüber hinaus wurden die Leistungstests und Fragebögen zur Erfassung lernrelevanter Schülermerkmale auf ihre Eignung zur Individualdiagnostik evaluiert. Die Erkenntnisse aus der Vorstudie wurden anschließend dazu genutzt, um in der Hauptstudie die Zusammenhänge zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen, den aufgabenbezogenen Lernaktivitäten und Schwierigkeiten sowie dem individuellen Lernerfolg zu untersuchen.

Um die in den Forschungsfragen formulierten Merkmale und Zusammenhänge analysieren zu können, wurden verschiedene Messverfahren zu unterschiedlichen Messzeitpunkten der Lernphase eingesetzt (vgl. Tabelle 7). In der Unterrichtsstunde unmittelbar vor der Bearbeitung der Experimentieraufgaben fand eine erste Testung zur Erfassung der individuellen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler statt (Messzeitpunkt 1). Hier wurden für die Bearbeitung von kooperativen Experimentieraufgaben relevante Schülermerkmale erfasst. Die Schülerinnen und Schüler konnten hier auch Wünsche angeben, mit welchen Mitschülerinnen und Mitschülern sie gerne in einer Kleingruppe arbeiten möchten. Diese Wünsche konnten mit Blick auf die Ergebnisse der Leistungstests weitestgehend erfüllt werden. Während der Experimentierphasen (Messzeitpunkt 2) erhielten die Schülerinnen und Schüler offene Protokollvorlagen, um weitere prozessbezogene Informationen über die Lernphase zu erhalten und die Lernprozessanalyse abzusichern. Zudem wurden pro Lerngruppe drei bis vier Kleingruppen videographiert. Im direkten Anschluss an die Lernphase wurde das konzeptbezogene Fachwissen in der Chemie als Indikator für den Lernerfolg erneut erfasst (Messzeitpunkt 3). Zusätzlich wurden wieder affektive Schülermerkmale erhoben.

Da bei einer derart kurzen Intervention ohne gezielte Unterstützung nicht von einem bedeutsamen Lerneffekt auf das prozessbezogene Wissen zum Experimentieren ausgegangen werden kann (vgl. hierzu langfristige Interventionen u. a. von Walpuski (2006) und Knobloch (2012)) und die kognitiven Grundfähigkeiten ein

II Darstellung der Untersuchung

weitestgehend stabiles Konstrukt darstellen (Hartig & Klieme, 2006), wurde auf einen erneuten Einsatz beider Messinstrumente verzichtet.

Tabelle 7: Übersicht zur Organisation der eingesetzten Messverfahren in der Untersuchung

Messverfahren	Messzeitpunkt 1 (vor der Lernphase)	Messzeitpunkt 2 (während der Lernphase)	Messzeitpunkt 3 (nach der Lernphase)
Test zu den kognitiven Grundfähigkeiten	X		
Tests zum konzeptbezogenen Fachwissen in der Chemie	X		X
Test zum prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren	X		
Fragebogen zu affektiven Schülermerkmalen	X		X
Videographie der Experimentierphase		X	
Protokollvorlagen zur Experimentierphase		X	

Die gesamte Untersuchung fand im Rahmen des regulären Chemieunterrichts von Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufe 9 (zweites Lernjahr im Fach Chemie) statt. Da mit Hilfe der Untersuchung Aussagen über das Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben im zweiten Lernjahr der Sekundarstufe I getroffen werden sollen (Zielpopulation), muss bei der Auswahl der Stichproben auf eine möglichst hohe Repräsentativität geachtet werden (vgl. Döring & Bortz, 2016). Da Schülerinnen und Schüler in der Sekundarstufe I unterschiedliche Schulformen besuchen und die empirisch Befundlage hier auf differentielle Lernmilieus (u.a. Baumert et al., 2009) hinweist, wäre eine ausschließliche Untersuchung von Schülerinnen und Schüler einer einzelnen Schulform zu kurz gegriffen, um auf die Zielpopulation schließen zu können. Daher werden im Rahmen dieser Untersuchung Schülerinnen und Schüler unterschiedlicher Schulformen in die Analysen aufgenommen.

Durch die in der Untersuchung angewendeten Messverfahren zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten stehen zur Analyse der im Forschungsziel genannten Faktoren und Merkmale eine hinreichend umfangreiche Datengrundlage zur Verfügung. Dabei kommen Verfahren der Lernprozess- und Leistungsdiagnostik zum Einsatz, die mit Hilfe qualitativer und quantitativer Methoden ausgewertet und in einem Mixed-Methods-Ansatz (vgl. Flick, 2011) miteinander in Beziehung gesetzt werden.

Grundlage der Untersuchung stellen die Arbeitsphasen von Schülerinnen und Schülern beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben dar. Hierzu wurden Lernumgebungen zu den drei Inhaltsbereichen „Elektrische Energie aus chemischen Reaktionen“, „Säuren, Laugen und Salze“ und „Luft und Wasser“ entwickelt, die jeweils aus zwei aufeinander aufbauenden Experimentieraufgaben bestehen. Um eine gewisse Vergleichbarkeit zwischen den Experimentieraufgaben herzustellen, wurden bei Entwicklung grundlegende Gestaltungsprinzipien umgesetzt. Jede Experimentieraufgabe beginnt mit einem kurzen Einführungstext, der am Ende zu einer (bei der ersten Experimentieraufgabe einer Lernumgebung) bzw. zwei Fragestellungen (bei der zweiten Experimentieraufgabe einer Lernumgebung) führt. Jede Experimentieraufgabe ist in einen Kontext, einen übergeordneten Zusammenhang von persönlicher oder gesellschaftlicher Relevanz (Demuth, Gräsel, Parchmann, & Ralle, 2008), eingeordnet. Dadurch soll die Bereitschaft der Schülerinnen und Schüler, sich mit einer Experimentieraufgabe zu beschäftigen, sichergestellt werden. Bei der Kontextorientierung wurden bestehende Erkenntnisse zu Merkmalen und Eigenschaften von Kontexten im naturwissenschaftlichen Unterricht berücksichtigt (vgl. u. a. van Vorst, 2013). Ausgehend von der Experimentieraufgabe wurden die notwendigen Informationen identifiziert, die für eine erfolgreiche Bearbeitung einer Experimentieraufgabe unbedingt notwendig sind. Diese Informationen wurden anschließend inhaltlich strukturiert und in entsprechendes Informationsmaterial überführt. Zur Bearbeitung wird den Schülerinnen und Schülern ausschließlich Labormaterial zur Verfügung gestellt, das unbedingt notwendig ist und das Testen mit der Fragestellung in Beziehung stehender Ideen und Untersuchungsdesigns erlaubt. Auf zusätzliches Material wurde verzichtet. Die Bearbeitungszeit jeder Experimentieraufgabe ist auf 20 bis 25 Minuten ausgelegt. Die Schülerinnen und Schüler erhielten zu Beginn der Bearbeitung eine kurze Einführung in die Struktur des Lernmaterials und die Gestaltung der Arbeitsphase. Aus organisatorischen Gründen wurde innerhalb einer Schulklasse immer genau eine Lernumgebung eingesetzt.

II.3 Beschreibung der eingesetzten Lernumgebungen

In der vorliegenden Untersuchung wurden drei Lernumgebungen aus verschiedenen Inhaltsfeldern mit unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen entwickelt und eingesetzt (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8: Übersicht zur inhaltlichen Ausrichtung der eingesetzten Lernumgebungen

	Lernumgebung A	Lernumgebung B	Lernumgebung C
Inhaltsfeld	Elektrische Energie aus chemischen Reaktionen	Säuren, Laugen und Salze	Luft und Wasser
Thema	Batterien	Ozeanversauerung	Trinkwasser

Dabei beschreiben Inhaltsfelder übergeordnete Strukturen, die inhaltlich kohärente Lerngegenstände zusammenfassen und systematisieren (vgl. MSW-NRW, 2013, S. 17). Zur Entwicklung der Lernumgebungen wurden der Kernlehrplan für den Lernbereich Naturwissenschaften an Hauptschulen (MSW-NRW, 2011a) und Gesamtschulen (MSW-NRW, 2013) sowie die Kernlehrpläne für das Fach Chemie an Realschulen (MSW-NRW, 2011b) und Gymnasien (MSW-NRW, 2008) des Landes Nordrhein-Westfalen herangezogen. Im Folgenden wird die inhaltliche Struktur der einzelnen Lernumgebungen unter besonderer Berücksichtigung der Kompetenzorientierung und themenspezifischen Zielsetzungen vorgestellt, weitere Ausführungen zum Lernmaterial finden sich im Anhang. Zur besseren Einordnung der Erkenntnisse der Untersuchung werden ausschließlich die finalen Lernumgebungen vorgestellt, wie sie in der Hauptstudie eingesetzt wurden.

II.3.1 Lernumgebung zum Inhaltsfeld „Elektrische Energie aus chemischen Reaktionen“

Elektrochemische Prozesse kommen im Alltag in vielfältigen Zusammenhängen vor. Schülerinnen und Schüler sind hier besonders mit mobilen Energieträgern wie Batterien täglich konfrontiert, auch wenn sie diese häufig nicht mit chemischen Reaktionen in Verbindung bringen können. In der empirischen Forschung sind Erkenntnisse zu Lernprozessen in der Elektrochemie in der Sekundarstufe I selten,

Befunde zu Schülervorstellungen über elektrochemische Zusammenhänge in der Sekundarstufe II deuten jedoch auf große Schwierigkeiten hin (vgl. Burger, 2000). In der Lernumgebung zum Thema „Batterien“ setzen sich die Schülerinnen und Schüler in einem historischen Zusammenhang mit dem Aufbau und der Funktionsweise einer einfachen Batterie am Beispiel der Bagdad-Batterie (Keyser, 1993) auseinander.

Erste Experimentieraufgabe und Lernmaterial zum Thema „Batterien“

In der ersten Experimentieraufgabe setzen sich die Schülerinnen und Schüler damit auseinander, aus welchen Bauteilen elektrochemische Energiespeicher bestehen und wie diese zueinander angeordnet werden müssen. Im Gegensatz zu modernen Batterien, die häufig über einen komplexen Aufbau verfügen und es sich bei den ablaufenden elektrochemischen Prozessen oft um komplexe chemische Reaktionen handelt, wird in dieser Lernumgebung das grundlegende Aufbauprinzip am Beispiel einer ersten Version einer Batterie aus der Antike, der sogenannten Bagdad-Batterie, erarbeitet.



Abbildung 7: Erste Experimentierbox zur Lernumgebung im Inhaltsfeld „Elektrische Energie aus chemischen Reaktionen“

Die Auseinandersetzung mit der Bagdad-Batterie als elektrochemischen Energiewandler bietet den Vorteil, dass der Aufbau auf die wesentlichen und funktionsgebenden Bauteile, den Elektroden und der Elektrolyt-Lösung, beschränkt ist. Aufbau und Funktionsweise ist dem der beliebten Zitronenbatterie sehr ähnlich (vgl. Peper-Bienzeisler, Bröll, Pöhl, & Jansen, 2013). Das Lernmaterial enthält

Informationen zum Kontext sowie zu Konzepten, die grundlegend für eine erfolgreichen Bearbeitung der Experimentieraufgabe sind.

Insgesamt erarbeiten die Schülerinnen und Schüler, welche Bauteile überhaupt notwendig sind und welche Funktion diese in einer Batterie übernehmen. Hier geht es vor allem um das Material der Elektroden und die Eigenschaften von Salzlösungen. Davon ausgehend müssen sie dieses Wissen auf die strukturellen Merkmale des Aufbaus einer Batterie übertragen (vgl. Tabelle 9).

Tabelle 9: Inhaltliche Zielsetzung der ersten Experimentieraufgabe (A1) zur Lernumgebung im Inhaltsfeld „Elektrische Energie aus chemischen Reaktionen“

Die Schülerinnen und Schüler ...

Geförderte Kompetenzen

- ... beschreiben Phänomene der Energieumwandlung bei chemischen Reaktionen (F3.1)
- ... beschreiben, veranschaulichen und erklären chemische Sachverhalte unter Verwendung der Fachsprache und mit Hilfe von Modellen und Darstellungen (K4)

Konkretisierte Lernziele

- ... können die Bauteile (*Elektroden* und *Elektrolyt-Lösung*) einer Batterie benennen und hinsichtlich ihrer Eigenschaften beschreiben
 - ... können den grundlegenden Aufbau einer Batterie beschreiben
-

Zur Bearbeitung der Fragestellung stehen den Schülerinnen und Schülern neben dem Elektrodenmaterial (Eisen und Kupfer in Röhren- und Stabform), Citronensäure in Pulverform sowie destilliertes Wasser auch verschiedene Experimentiermaterialien, unter anderem ein Voltmeter zur Messung der elektrischen Spannung (vgl. Anhang). Dadurch können die Schülerinnen und Schüler typische Vorstellungen und Ideen zum Aufbau elektrochemischer Energiespeicher (u.a. die Verwendung von Elektroden aus dem gleichen Material oder die ausschließliche Verwendung von destilliertem Wasser) testen und daraus eigene Schlüsse ziehen.

Zweite Experimentieraufgabe und Lernmaterial zum Thema „Batterien“

In der zweiten Experimentieraufgabe zur Lernumgebung in diesem Inhaltsfeld werden die Erkenntnisse zum Aufbau von Batterien dazu genutzt, um weiterführend der Funktionsweise elektrochemischer Energiespeicher nachzugehen. Darunter wird in dieser Experimentieraufgabe vereinfacht die Umwandlung chemischer Energie in elektrische Energie verstanden. Den Ausgangspunkt dafür stellt die

Vielfalt moderner Batterien mit unterschiedlichen Größen und Spannungen dar (vgl. Abbildung 8).



Abbildung 8: Zweite Experimentierbox zur Lernumgebung im Inhaltsfeld „Elektrische Energie aus chemischen Reaktionen“

Die Experimentieraufgabe gliedert sich in zwei aufeinander aufbauende Teilaufgaben. In der ersten Teilaufgabe liegt die Zielperspektive darauf, die in der Lernumgebung vorgegebenen Elektroden unterschiedlichen Materials (Kupfer, Eisen, Zink und Magnesium) in eine begründete Reihenfolge zu bringen. Im Einführungstext wird hierzu bereits der Zusammenhang zwischen der Höhe der Spannung und dem Material der Elektroden angedeutet. Das elektrochemische Potential von Metallen wird weitergehend auf die chemischen Eigenschaften von Plus- und Minuspol übertragen. Hier geht es vereinfacht um den unedleren Charakter des Materials des Minuspols und den damit verbundenen Elektronenüberschuss (vgl. Tabelle 10). Um die vorgegebenen Metalle ordnen zu können, müssen die Schülerinnen und Schüler den edlen bzw. unedlen Charakter als Ordnungskriterium heranziehen. Da es hier nicht um eine Gruppierung der Metalle in edle und unedle Metalle, sondern um eine stetige Abfolge der Metalle geht, müssen die Schülerinnen und Schüler in einem experimentellen Ansatz ein Metall als Bezugsmaterial festlegen.

Tabelle 10: Inhaltliche Zielsetzung der zweiten Experimentieraufgabe (A2) zur Lernumgebung im Inhaltsfeld „Elektrische Energie aus chemischen Reaktionen“

Die Schülerinnen und Schüler ...

- | | |
|---------------------------------|---|
| Geförderte Kompetenzen | <ul style="list-style-type: none">▪ ... beschreiben Phänomene der Stoff- und Energieumwandlung bei chemischen Reaktionen (F3.2)▪ ... finden Trends, Strukturen und Beziehungen in erhobenen Daten und ziehen geeignete Schlussfolgerungen (E6) |
| Konkretisierte Lernziele | <ul style="list-style-type: none">▪ ... können die Umwandlung chemischer Energie in elektrische Energie als Funktionsprinzip einer Batterie beschreiben▪ ... können unterschiedliche Metalle anhand ihres edlen und unedlen Charakters ordnen▪ ... können die chemischen Eigenschaften von Minuspol und Pluspol erläutern |
-

Das Experimentiermaterial und der zielführende Aufbau gleichen dabei grundsätzlich dem aus der ersten Box, jedoch müssen die Schülerinnen und Schüler systematisch die Elektroden variieren. Zusätzlich müssen die Schülerinnen und Schüler auf die Position von Plus- und Minuspol achten.

Zur Unterstützung des Ziels der ersten Teilaufgabe erhalten die Schülerinnen und Schüler auf dem Informationsmaterial eine Orientierungshilfe, auf der der unedle und edle Charakter von Metallen definiert wird und die von ihnen gebildete Reihenfolge eintragen können (vgl. Info-Karte A2.3). Darüber hinaus stehen den Schülerinnen und Schülern grundlegende Informationen zu elektrischem Strom und Stromkreisläufen (vgl. Info-Karte A2.1) sowie Informationen über Merkmale von Plus- und Minuspol in Bezug auf die elektrische Spannung (vgl. Info-Karte A2.2) zur Verfügung.

II.3.2 Lernumgebung zum Inhaltsfeld „Säuren, Laugen und Salze“

Eigenschaften wie der saure oder basische Charakter eines Stoffes spielen in der Chemie zur Identifizierung und Unterscheidung von Stoffen eine wichtige Rolle. Wechselwirkungen zwischen Säuren und Basen im Sinne von Neutralisationsreaktionen finden in der Natur in unterschiedlichen Zusammenhängen statt. Besonders aktuell, wenn gleich auch eher wenig präsent, ist die zunehmende Versauerung der Ozeane durch den steigenden Kohlenstoffdioxidgehalt in der Atmosphäre (vgl. Bach & Riebesell, 2016; BMBF, 2016). Diese Thematik wurde in der im folgenden

vorgestellten Lernumgebung zum Thema „Ozeanversauerung“ aufgegriffen, innerhalb derer die Schülerinnen und Schüler den grundlegenden Prozess der Ozeanversauerung untersuchen.

Erste Experimentieraufgabe und Lernmaterial zum Thema „Ozeanversauerung“

In der ersten Experimentieraufgabe werden die Schülerinnen und Schüler für die Austausch zwischen der Atmosphäre und dem Oberflächenwasser speziell in Bezug auf den pH-Wert in den Ozeanen sensibilisiert (vgl. Abbildung 9)



Abbildung 9: Erste Experimentierbox zur Lernumgebung im Inhaltsfeld „Säuren, Laugen und Salze“

Die Experimentieraufgabe zielt darauf ab, den Einfluss verschiedener Gase in der Luft auf den pH-Wert im Wasser zu untersuchen. Dazu stehen den Schülerinnen und Schülern unterschiedliche Gase (Kohlenstoffdioxid, Stickstoff, Sauerstoff, Argon) in Kunststoffspritzen zur Verfügung. Mit Universalindikator müssen die Schülerinnen und Schüler dann die Wirkung der Gase auf den pH-Wert im Wasser untersuchen und das für die Veränderung des pH-Werts in den Ozeanen ursächliche Gas (Kohlenstoffdioxid) identifizieren (vgl. Tabelle 11). Weiterführend kann die Veränderung des pH-Werts durch Kohlenstoffdioxid auch mit dem Absinken des pH-Werts und einer damit verbundenen Versauerung konkretisiert werden.

Tabelle 11: Inhaltliche Zielsetzung der ersten Experimentieraufgabe (B1) zur Lernumgebung im Inhaltsfeld „Säuren, Laugen und Salze“

Die Schülerinnen und Schüler ...	
Geförderte Kompetenzen	<ul style="list-style-type: none">▪ ... nennen und beschreiben bedeutsame Stoffe mit ihren typischen Eigenschaften (F1.1)▪ ... beschreiben Phänomene der Stoff- und Energieumwandlung bei chemischen Reaktionen (F3.1)
Konkretisierte Lernziele	<ul style="list-style-type: none">▪ ... können saure und neutrale Lösungen mit einem Säure-Base-Indikator nachweisen▪ ... können die Wirkung verschiedener Gase in der Luft auf den pH-Wert in Gewässern beschreiben

Zur Bestimmung des pH-Werts mit Universalindikator steht den Schülerinnen und Schülern eine Farbskala (Info-Karte B1.1) zur Verfügung. Zusätzlich werden eine adressatengereichte Definition des pH-Werts aufgeführt und es werden Beispiele für saure und alkalische Lösungen mit ihrem Vorkommen im Alltag beschrieben (vgl. Info-Karte B1.2). Die Schülerinnen und Schüler können zur Bearbeitung der Experimentieraufgabe entweder das zur Verfügung stehende Wasser (auf pH 7 eingestellt) bereits zu Beginn mit Universalindikator versetzen und anschließend die Farbänderung durch Zugabe der Gase beobachten oder den Universalindikator erst nach Zugabe der Gase hinzugeben. Dadurch erlaubt das zur Verfügung stehende Lernmaterial unterschiedliche Bearbeitungsstrategien durch die Schülerinnen und Schüler.

Zweite Experimentieraufgabe und Lernmaterial zum Thema „Ozeanversauerung“

Ausgehend von der Erkenntnis, dass sich Kohlenstoffdioxid auf den pH-Wert im Wasser auswirkt, wird in der zweiten Experimentieraufgabe das Problem der Ozeanversauerung aufgegriffen. In diesem Zusammenhang erfahren die Schülerinnen und Schüler bereits im Einführungstext, dass Mineralstoffe im Meerwasser an der Regulation des pH-Werts in den Ozeanen beteiligt sind. Eine aufgabenbezogene Beschreibung zur Ozeanversauerung erhalten die Schülerinnen und Schüler auf der Info-Karte (B2.1). In einer ersten Teilaufgabe untersuchen die Schülerinnen und Schüler analog zur ersten Experimentieraufgabe den Einfluss unterschiedlicher Salze (Natriumchlorid, Natriumhydrogencarbonat, Natriumcarbonat, Natriumsulfat) auf die saure Wirkung des Kohlenstoffdioxids. Als Mineralstoffe werden in diesem Zusammenhang die gelösten Ionen (Natrium-Ionen, Hydrogencarbonat-Ionen,

Carbonat-Ionen, Sulfat-Ionen) verstanden, die in einer Übersicht auf Info-Karte B2.2 dargestellt werden.



Abbildung 10: Zweite Experimentierbox zur Lernumgebung im Inhaltsfeld „Säuren, Laugen und Salze“

Darauf aufbauend geht es in einer zweiten Teilaufgabe darum, Gemeinsamkeiten jener Mineralstoffe zu identifizieren, welche die saure Wirkung des Kohlenstoffdioxids aufheben. Hier wird wieder ein Bezug zum pH-Wert hergestellt, indem das Aufheben des sauren Charakters eines Stoffes durch den basischen Charakter eines anderen Stoffes als Neutralisation gedeutet wird (vgl. Tabelle 12).

Tabelle 12: Inhaltliche Zielsetzung der zweiten Experimentieraufgabe (B2) zur Lernumgebung im Inhaltsfeld „Säuren, Laugen und Salze“

Die Schülerinnen und Schüler ...

Geförderte Kompetenzen

- ... nennen und beschreiben bedeutsame Stoffe mit ihren typischen Eigenschaften (F1.1)
- ... beschreiben Phänomene der Stoff- und Energieumwandlung bei chemischen Reaktionen (F3.1)

Konkretisierte Lernziele

- ... können saure, basische und neutrale Lösungen mit einem Säure-Base-Indikator nachweisen
- ... können die Wirkung verschiedener Salze auf den pH-Wert im Wasser beschreiben
- ... können die gegenseitige Aufhebung des sauren und basischen Charakters am Beispiel der Regulation des pH-Werts im Meerwasser als Neutralisation deuten

Die Bestimmung des pH-Werts erfolgt ebenfalls mit Universalindikator-Lösung und der dazugehörigen Farbskala. Bei der Auswahl der zur Verfügung gestellten Salze wurde auf eine möglichst gute Wasserlöslichkeit geachtet, damit die Schülerinnen und Schüler hier weitestgehend klare Lösungen untersuchen können. Für die Bearbeitung der Experimentieraufgabe stehen den Schülerinnen und Schülern unterschiedliche Vorgehensweisen analog zur ersten Experimentieraufgabe zur Verfügung. Mit Hilfe der Farbskala auf Info-Karte B2.3 können die Schülerinnen und Schüler die untersuchten Salze gruppieren und diese Gruppierung mit zweiten Teilaufgabe in Beziehung setzen.

II.3.3 Lernumgebung zum Inhaltsfeld „Luft und Wasser“

Analytische Verfahren zum Nachweis von Stoffen oder zur Gehaltsbestimmung sind typische Arbeitsweisen in der Chemie, bei denen das Wissen über die Spezifität chemischer Reaktionen für sichere und eindeutigen Analysen genutzt wird (Sommer & Pfeifer, 2019; Schwedt, Schmidt, & Schmitz, 2017). Die Ergebnisse chemischer Analyseverfahren stellen dabei häufig eine Grundlage zur Bewertung übergeordneter Zusammenhänge wie beispielsweise zum Umweltschutz oder einer gesunden Lebensführung dar. In der im folgenden vorgestellten Lernumgebung zum Thema „Trinkwasser“ entwickeln und nutzen die Schülerinnen und Schüler am Beispiel der Gewinnung und Nutzung von Trinkwasser einfache quantitative Verfahren zur Bestimmung des Calcium- und Nitritgehalts im Wasser und in einem übergeordneten Zusammenhang bewerten.

Erste Experimentieraufgabe und Lernmaterial zum Thema „Trinkwasser“

Ausgangspunkt für die erste Experimentieraufgabe ist die Vielfalt an verschiedenen Mineralwassersorten (vgl. Abbildung 11).

Ein wichtiger Mineralstoff im Mineralwasser ist Calcium. Dieses lässt sich mit Hilfe einer gesättigten Kaliumoxalat-Lösung im Wasser nachweisen. Grundlegende Informationen zum Nachweis von Calcium mit Hilfe einer Kaliumoxalat-Lösung erhalten die Schülerinnen und Schüler auf dem Informationsmaterial (Info-Karte C1.1).



Abbildung 11: Erste Experimentierbox zur Lernumgebung im Inhaltsfeld „Luft und Wasser“

Über die Intensität der dabei stattfindenden Fällungsreaktion lassen sich zudem Lösungen mit unterschiedlich hohem Calciumgehalt voneinander eindeutig unterscheiden. Dieser Zusammenhang wird im Rahmen der Experimentieraufgabe aufgegriffen (vgl. Tabelle 13).

Tabelle 13: Inhaltliche Zielsetzung der ersten Experimentieraufgabe (C1) zur Lernumgebung im Inhaltsfeld „Luft und Wasser“

Die Schülerinnen und Schüler ...	
Geförderte Kompetenzen	<ul style="list-style-type: none"> ... nennen und beschreiben bedeutsame Stoffe mit ihren typischen Eigenschaften (F1.1) ... nutzen fachtypische und vernetzte Kenntnisse und Fertigkeiten, um lebenspraktisch bedeutsame Zusammenhänge zu erschließen (B3)
Konkretisierte Lernziele	<ul style="list-style-type: none"> ... können Calcium als wichtigen Mineralstoff im Mineralwasser benennen ... können verschiedene Mineralwassersorten aufgrund ihrer unterschiedlichen Mineralstoffzusammensetzungen experimentell unterscheiden

Die Schülerinnen und Schüler erhalten drei Mineralwasserproben (Probe A, Probe B, Probe C) und zu den Proben drei passende Etiketten mit Angaben zur Mineralstoffzusammensetzung der drei Mineralwassersorten (Info-Karten C1.2a-c). Diese

II Darstellung der Untersuchung

wurden so ausgewählt, dass die Intensität der Fällungsreaktion mit Kaliumoxalat deutlich unterscheidbar ausfällt. Zusätzlich steht den Schülerinnen und Schülern destilliertes Wasser zur Verfügung, um damit eine Blindprobe durchführen zu können. Das Experimentiermaterial, vor allem Pipetten zum Abfüllen, steht in ausreichender Menge zur Verfügung, um falsche Ergebnisse durch Verunreinigungen zu vermeiden.

Zweite Experimentieraufgabe und Lernmaterial zum Thema „Trinkwasser“

Der Zusammenhang, dass die Intensität einer chemischen Reaktion bei der Analyse eines Stoffes von der Konzentration eines Stoffes abhängt, wird in der zweiten Experimentieraufgabe weiterführend aufgegriffen. Anders als in der ersten Experimentieraufgabe geht es hier jedoch um die Schadstoffbelastung im Wasser am Beispiel der Verunreinigung von Grundwasser durch Nitrit (vgl. Abbildung 12).



Abbildung 12: Zweite Experimentierbox zur Lernumgebung im Inhaltsfeld "Luft und Wasser"

Um die Schülerinnen und Schüler für das Problem zu sensibilisieren, enthält das Lernmaterial einen Schadstoffsteckbrief zu Nitrit mit grundlegenden Angaben über gesundheitliche Gefahren und Ursachen für die Verschmutzung (Info-Karte C2.1). In der ersten Teilaufgabe müssen die Schülerinnen und Schüler zunächst mit Hilfe des Experimentiermaterials ein geeignetes Verfahren zur Bestimmung des Nitritgehalts im Wasser entwickeln. Dazu stehen Vergleichslösungen mit genauen

Angaben über deren Nitritgehalt ($0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $0,01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $0,05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $0,1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $0,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) zur Verfügung. Die Grundlage für das Verfahren stellt der Nachweis von Nitrit mit Hilfe von Griess-Reagenz, einer essigsäuren Lösung von N-Naphthylethylendiamin und Sulfanilsäure, dar. Dieses Nachweisverfahren wird kurz auf dem Informationsmaterial vorgestellt (Info-Karte C2.3). In Anwesenheit von Nitrit-Ionen in einer Lösung bildet Griess-Reagenz einen roten Farbkomplex, der bereits bei geringen Konzentrationen von Nitrit-Ionen im Wasser sichtbar ist. Die Bestimmung des Nitritgehalts erfolgt dabei über einen visuellen Vergleich der Farbreaktion der Probelösung mit denen der Vergleichslösungen. In der Teilaufgabe 2 müssen die Schülerinnen und Schüler ihr Ergebnis bewerten und in den Zusammenhang der Problemstellung einordnen. Als Grundlage für die Bewertung des Nitritgehalts in der Wasserprobe dient der Grenzwert für Nitrit im Trinkwasser, der neben anderen Grenzwerten für weitere Schadstoffe (Ammonium, Barium, Blei, Nitrat) auf dem Informationsmaterial zu finden ist. Neben konzeptbezogenem Wissen werden in dieser Experimentieraufgabe vor allem Kompetenzen aus dem Bereich Bewertung gefördert (vgl. Tabelle 14).

Tabelle 14: Inhaltliche Zielsetzung der zweiten Experimentieraufgabe (C2) zur Lernumgebung im Inhaltsfeld „Luft und Wasser“

Die Schülerinnen und Schüler ...

- | | |
|---------------------------------|---|
| Geförderte Kompetenzen | <ul style="list-style-type: none">▪ ... beschreiben Phänomene der Stoff- und Energieumwandlung bei chemischen Reaktionen (F3.1)▪ ... nutzen fachtypische und vernetzte Kenntnisse und Fertigkeiten, um lebenspraktisch bedeutsame Zusammenhänge zu erschließen (B3) |
| Konkretisierte Lernziele | <ul style="list-style-type: none">▪ ... können die Bedeutung von Nitrit als Schadstoff im Trinkwasser beschreiben▪ ... können ein halbquantitatives Verfahren zur Bestimmung des Nitrit-Gehalts einer Wasserprobe beschreiben und anwenden▪ ... können die Qualität einer Wasserprobe auf der Grundlage geltender Schadstoffgrenzwerte beurteilen |
-

Die zu untersuchende Grundwasserprobe besitzt einen Nitritgehalt von $0,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, um ein möglichst eindeutiges Ergebnis erzielen zu können. Experimentiermaterial steht hier ebenfalls im ausreichenden Umfang zur Verfügung.

II.4 Eingesetzte Instrumente und Verfahren der Datenerhebung

II.4.1 Lernprozessdiagnostik

Zur Analyse von Lernprozessen im Unterricht werden in der empirischen Unterrichtsforschung häufig qualitative Prozessdaten herangezogen (Herrle, Kade, & Nolda, 2013; Reh, 2013; Klieme, 2006). Auch in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung liefern qualitative Forschungsdaten und die dazu angewandten Verfahren der Datenerhebung eine wichtige Grundlage, um Prozesse des Lehrens und Lernens untersuchen zu können (Brückmann & Duit, 2014; Walpuski & Sumfleth, 2009). Welche Art von qualitativen Daten erhoben werden, hängt stark von der Zielsetzung und dem Forschungsgegenstand ab (vgl. Döring & Bortz, 2016). Im Zusammenhang mit der Untersuchung des Einsatzes und der Effektivität von Experimentierphasen im naturwissenschaftlichen Unterricht haben sich besonders Videodaten vielfach bewährt (u.a. Kechel, 2016; Knobloch, 2011; Emden, 2011; Schulz, 2010; Walpuski, 2006; Tesch & Duit, 2004).

Da sich die Erhebung und der Umgang mit Videodaten teilweise erheblich komplexer darstellt als der Einsatz anderer Verfahren der Datenerhebung wie der Einsatz von Leistungstests oder Fragebögen, sind im Vorfeld Regeln und Verfahren zur Umsetzung der Videographie notwendig (vgl. Brückmann & Duit, 2014). Dazu gehören unter anderem die Beschreibung der Erhebungssituation, Hinweise zu den eingesetzten Instrumenten und Anweisungen zum Ablauf der Videographie (vgl. Roth, et al., 2006). Die dadurch geschaffene Transparenz und Standardisierung in der Datenerhebung trägt zur Qualitätssicherung des Forschungsprozesses bei (vgl. Göhner & Krell, 2020; Döring & Bortz, 2016; Brückmann & Duit, 2014).

Mit Blick auf das Ziel der hier vorgestellten Untersuchung soll das Verfahren der Videographie dazu genutzt werden, um die Lernaktivitäten und Schwierigkeiten während der Bearbeitung kooperativer Experimentieraufgaben zu untersuchen. Dazu werden die Schülerinnen und Schüler während der Bearbeitungsphase in einem im Vorfeld festgelegten Setting videographiert (vgl. Abbildung 13). Die Schülerinnen und Schüler (1) sitzen sich an einem Gruppentisch je zu zweit gegenüber. Die Videokamera (2) fokussiert aus einer erhöhten Perspektive das Experimentiergeschehen (3) schräg von oben. Dabei wurde darauf geachtet, dass Aktivitäten und Äußerungen einzelner Schülerinnen und Schüler im Rahmen der qualitativen Auswertung eindeutig zugeordnet werden können. Für eine optimale Tonqualität wurde zusätzlich ein Tischmikrofon (4) an die Videokamera angeschlossen. Für

weitergehende Hinweise und Aspekte zur technischen Umsetzung der Erhebung und Aufbereitung von Videodaten in erziehungswissenschaftlichen Zusammenhängen sei an dieser Stelle auf Dinkelaker & Herrle (2009) verwiesen.

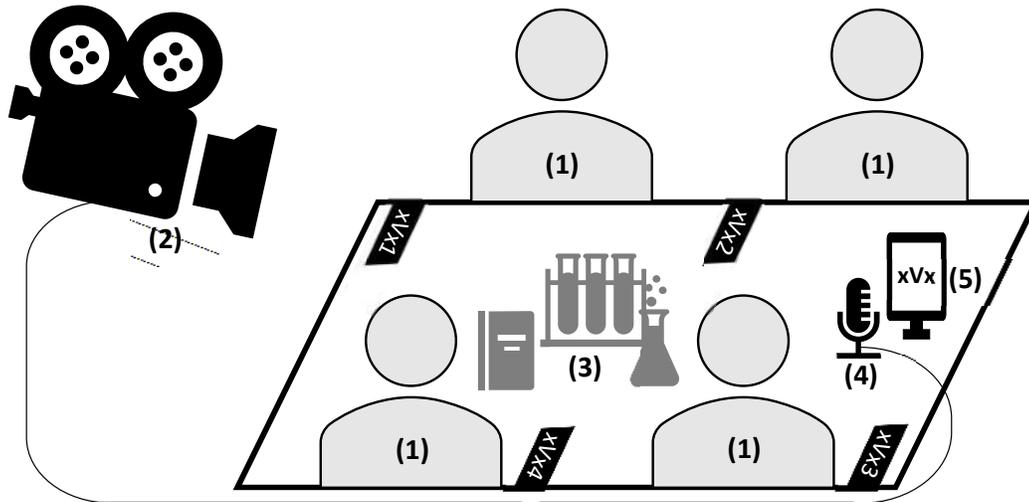


Abbildung 13: Schematische Darstellung zur Videographie der Experimentierphasen in dieser Untersuchung

Da es sich bei Videodaten um personenbezogene und sensible Daten im Sinne der Datenschutzgrundverordnung der Europäischen Union handelt, wurde ein Verfahren zur Pseudonymisierung in das Verfahren der Videographie integriert. Jedem Lernenden wird im Laufe der Testung ein individueller Zeichencode (z.B. 9V21) zugewiesen, der während der Videographie auf dem Gruppentisch vorliegt. Dieser Zeichencode besteht aus einem systematischen Kleingruppencode (5) und einer individuellen Lernendenziffer, welche die Schülerinnen und Schüler links von der Videokamera beginnend im Uhrzeigersinn die Ziffern von 1 bis 4 zuordnet. Der Kleingruppencode sowie der individuelle Zeichencode wird von den Schülerinnen und Schülern zu Messzeitpunkt 3 zusätzlich auf dem Leistungstest notiert. Dadurch können Lernprozess- und Leistungsdaten pseudonymisiert zur Auswertung in Beziehung gesetzt werden.

II.4.2 Leistungsdiagnostik

Standardisierte Leistungstests stellen in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung zur Messung von Schülerleistungen ein wichtiges und vielfach bewährtes Verfahren zur Statusdiagnostik dar (Schecker, Parchmann, & Krüger, 2014). Mit

Hilfe unterschiedlicher Leistungstests werden im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchung verschiedene Lernvoraussetzungen von Schülerinnen und Schülern erfasst.

Mit Blick auf die Bedeutung kognitiver Grundfähigkeiten für das Lernen (vgl. Kapitel I.2.2), wurden diese mit Hilfe des KFT-4-12+R (Heller & Perleth, 2000) erfasst, der auch anderen Untersuchungen zu ähnlichen Forschungsgegenständen erfolgreich angewendet worden ist (vgl. u.a. Hauerstein, 2019; Emden, 2010; Walpuski, 2006). Aus Gründen der verfügbaren Testzeit und der Anzahl weiterer Tests wurde ausschließlich die N1-Skala eingesetzt. Der Test setzt sich aus 25 Multiple-Choice-Single-Select-Items (Vorstudie und Hauptstudie) zusammen, welche die kognitive Grundfähigkeit der Schülerinnen und Schüler über das figurale Denken operationalisieren (vgl. Tabelle 15).

Tabelle 15: Übersicht zur eingesetzten Skala "Kognitive Grundfähigkeiten"

Skala	Vorstudie	Hauptstudie
<i>Kognitive Grundfähigkeiten</i>	<i>Itemanzahl</i>	<i>Itemanzahl</i>
Figurales Denken, N1-Skala (Heller & Perleth, 2000)	25	25

Die Bearbeitungszeit ist auf 9 Minuten normiert. Da alle Subskalen untereinander sowie mit der Gesamtskala hoch korreliert sind (vgl. Heller & Perleth, 2000), kann durch den alleinigen Einsatz der N-Skala von einer validen Erfassung der kognitiven Grundfähigkeiten der Schülerinnen und Schüler ausgegangen werden.

Das konzeptbezogene Fachwissen in der Chemie wurde über das Wissen zu grundlegenden chemischen Konzepten, sogenannte Kernideen (Celik, 2022), sowie über das Wissen zu den spezifischen Themenbereichen der Lernumgebungen operationalisiert (vgl. Tabelle 16). Da sich das vorhandene Wissen von Schülerinnen und Schülern nicht nur auf abstrakte Konzepte und Zusammenhänge bezieht, sondern vielfach auch auf konkrete Inhaltsbereiche bezogenes Wissen und verfügbare Kenntnisse umfasst, wird durch eine solche konzeptionelle Auslegung des Vorwissens von Schülerinnen und Schülern eine möglichst breite und tiefgreifende Erfassung des Konstrukts verfolgt. Die Konstruktion geeigneter Items zur Erfassung des themenspezifischen Wissens in den einzelnen Inhaltsfeldern erfolgte auf Basis der formulierten Kompetenzerwartungen der Lernumgebungen unter Berücksichtigung von in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung geltenden Kriterien zur Itementwicklung (vgl. u. a. Kauertz, 2014).

Tabelle 16: Übersicht zur eingesetzten Skala "Konzeptbezogenes Fachwissen Chemie"

Skala	Vorstudie	Hauptstudie
Konzeptbezogenes Fachwissen in der Chemie	<i>Itemanzahl</i>	<i>Itemanzahl</i>
Wissen zu chemischen Kernideen (Celik, 2022)	9	15
Spezifisches Wissen zum Thema „Batterien“ (eigene Entwicklung)	10	20
Spezifisches Wissen zum Thema „Ozeanversauerung“ (eigene Entwicklung)	10	20
Spezifisches Wissen zum Thema „Trinkwasser“ (eigene Entwicklung)	10	20

Zur Messung des konzeptbezogenen Fachwissens Chemie konnten 39 (Vorstudie) bzw. 75 (Hauptstudie) Items im Multiple-Choice-Single-Select-Format mit jeweils vier Antwortmöglichkeiten genutzt werden. Diese wurden zu drei Testheften entsprechend der eingesetzten Lernumgebungen zusammengesetzt. Die Testhefte zu den Inhaltsfeldern „Elektrische Energie aus chemischen Reaktionen“ (Thema „Batterien“), „Säuren, Laugen und Salze“ (Thema „Ozeanversauerung“) sowie „Luft und Wasser“ (Thema „Trinkwasser“) bestehen aus jeweils 19 (Vorstudie) bzw. 35 (Hauptstudie) Items. Da eine Veränderung des konzeptbezogenen Wissens nur bei Items zum entsprechend bearbeiteten Inhaltsfeld zu erwarten ist und der Einsatz aller Items nicht zumutbar ist, wurden die Testhefte in einem Multi-Matrix-Design eingesetzt (vgl. Tabelle 17). Die Bearbeitungszeit jedes Tests zum konzeptbezogenen Fachwissen in der Chemie wurde auf 20 Minuten (Vorstudie) bzw. 35 Minuten (Hauptstudie) angesetzt. Die Schülerinnen und Schüler wurden dazu aufgefordert, die Items nacheinander zu bearbeiten und nicht zu bereits bearbeiteten Items zurückzukehren. Die Items zum Wissen zu chemischen Kernideen dienen dabei als Anker-Items zur gemeinsamen Skalierung der Testhefte im Rahmen der Auswertung. Hierzu wurde bei der Auswahl der Items auf optimale Werte der Modellpassung sowie einer angemessenen inhaltlichen Validität geachtet.

II Darstellung der Untersuchung

Tabelle 17: Testheftdesign zur Erfassung des konzeptbezogenen Fachwissens Chemie

Zusammensetzung des Testhefts zur Lernumgebung aus dem Inhaltsfeld ...			
Eingesetzte Items	Elektrische Energie aus chemischen Reaktionen	Säuren, Laugen und Salze	Luft und Wasser
Wissen zu chemischen Kernideen	X	X	X
Spezifisches Wissen zum Thema „Batterien“	X		
Spezifisches Wissen zum Thema „Ozeanversauerung“		X	
Spezifisches Wissen zum Thema „Trinkwasser“			X

Das prozessbezogene Wissen von Schülerinnen und Schüler zum Experimentieren wurde über 12 Items im Multiple-Choice-Single-Select-Format mit vier Antwortmöglichkeiten erfasst (vgl. Tabelle 18). Die Items stammen aus zwei Untersuchungen zur Messung und dem Erwerb naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen im Chemieunterricht (Mannel, 2011; Koenen, 2014). Die Bearbeitungszeit des Tests zum prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren wurde mit 15 Minuten (Vorstudie und Hauptstudie) bemessen. Auch hier wurden die Schülerinnen und Schüler auf eine strukturierte Bearbeitung der Items in der vorliegenden Reihenfolge aufgefordert.

Tabelle 18: Übersicht zur eingesetzten Skala "Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren"

Skala	Vorstudie	Hauptstudie
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	<i>Itemanzahl</i>	<i>Itemanzahl</i>
Wissen zu naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen (Mannel, 2011)	9	9
Wissen zu naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen (Koenen, 2014)	3	3

Die von Mannel (2011) entwickelten und evaluierten Items weisen eine gute Eignung zur Messung der Kompetenzen zu naturwissenschaftlichen Denk- und

Arbeitsweisen insbesondere im unteren und mittlerem Leistungsbereich auf. Die von Koenen (2014) eingesetzten Items zum Wissen zu naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen erweisen sich als für Schülerinnen und Schüler im Anfangsunterricht als zu schwer, sodass dadurch von einer optimalen Erfassung des prozessbezogenen Wissens zum Experimentieren in der Zielstichprobe der hier vorgestellten Untersuchung ausgegangen werden kann. Die Items aus beiden Untersuchungen liegen im gleichen Format vor, eine Auswahl erfolgte ebenfalls anhand der empirisch verfügbaren Itemkennwerte.

Zusätzlich zu kognitiven Schülermerkmalen wurde auch das individuelle Fachinteresse als affektive Lernvoraussetzung erhoben. Dazu wurde ein Fragebogen mit bereits bewährten mehrstufigen Zustimmungskriterien eingesetzt (vgl. Tabelle 19).

Tabelle 19: Übersicht zu den eingesetzten Fragebögen "Affektive Faktoren"

Skalen	Vorstudie	Hauptstudie
Affektive Faktoren	<i>Itemanzahl</i>	<i>Itemanzahl</i>
Skala zum individuellen Interesse (Fechner, 2009)	7	7

Die Schülerinnen und Schüler wurden dazu aufgefordert, die Items zu lesen und eine spontane, eindeutige Entscheidung zu treffen.

Zur Umsetzung einer möglichst hohen Objektivität in der Durchführung wurden die Schülerinnen und Schüler durch den jeweiligen Testleitenden durch die Bearbeitung der Leistungstests und Fragebögen auf der Grundlage eines Testleiter-Manuals geführt.

II.5 Methodische Grundlagen der Datenauswertung

Da in der Untersuchung dem Zusammenhang verschiedener Einflussfaktoren sowohl auf der Ebene der individuellen Lernvoraussetzung als auch auf der Ebene des Lernprozesses nachgegangen werden soll, werden verschiedene Datenquellen und Auswertungsstrategien miteinander in Beziehung gesetzt. Der Verschränkung qualitativer und quantitativer Vorgehensweisen kommt als Mixed-Methods-Design

(Kuckartz, 2014; Flick, 2011) eine besondere Bedeutung zur Absicherung von Forschungsergebnissen sowie einer tieferen Erkenntnisgewinnung zu. Als Gütekriterien werden Mixed-Methods-Ansätzen die in der qualitativen und quantitativen Forschung geltenden Gütekriterien zugrunde gelegt (vgl. Döring & Bortz, 2016). Zusätzlich werden weitere spezifische Qualitätskriterien für Mixed-Methods-Ansätze vorgeschlagen (vgl. O’Cathain, 2010), die sich unter anderem auf die Qualität des Untersuchungsdesign sowie die Übertragbarkeit der Ergebnisse hinsichtlich der Forschungsfrage beziehen. Im Rahmen der vorgestellten Untersuchung wurde dies bereits im Vorfeld durch die inhaltliche Varianz der eingesetzten Lernumgebungen sowie durch eine kritische Auseinandersetzung mit der Wahl der Stichproben vor dem Hintergrund der Zielsetzung der Untersuchung umgesetzt (vgl. Kapitel II.2). Im Folgenden werden nun die qualitative und die quantitative Forschungsperspektive aus dem in der Untersuchung umgesetzten Mixed-Methods-Design näher spezifiziert, die methodischen Grundlagen mit Blick auf die Analyse der erhobenen Daten erläutert und abschließend mit Blick auf eine Qualitätsabsicherung diskutiert.

II.5.1 Qualitative Forschungsperspektive

Zur Auswertung qualitativer Prozessdaten in bildungswissenschaftlichen Zusammenhängen stehen eine Vielzahl an Verfahren für unterschiedliche Forschungsgegenstände zur Verfügung (vgl. Döring & Bortz, 2016; Friebertshäuser, Langer, & Prengel, 2013). Da es in der hier durchgeführten Untersuchung um die Rekonstruktion und Erfassung von Schüleraktivitäten und Schwierigkeiten aus den Lernprozessdaten gehen soll, muss ein Auswertungsverfahren genutzt werden, mit dem aus dem Datenmaterial Kategorien zur Beschreibung von Schüleraktivitäten und Schwierigkeiten beschreibend abgeleitet und Lernprozesse hinsichtlich des Auftretens dieser Aspekte regelgeleitet untersucht werden können. Ein hierzu geeignetes Auswertungsverfahren bietet die qualitative Inhaltsanalyse (Mayring, 2015), die auch zur Auswertung von Videodaten herangezogen werden kann (Mayring, Gläser-Zikuda, & Ziegelbauer, 2004).

Verfahren zur qualitativen Auswertung der Lernprozessdaten

Eine Stärke der qualitativen Inhaltsanalyse ist, dass die Auswertung regelgeleitet und strukturiert erfolgt. Mayring (2015) schlägt in diesem Zusammenhang ein allgemeines Ablaufschema zum Analyseprozess vor, das in konkretisierter Form der Analyse in der hier durchgeführten Untersuchung zugrunde gelegt wird (vgl. Abbildung 14). Während es in der Vorstudie primär darum geht, ein Verfahren zur

Auswertung der Bearbeitungsphase beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben zu entwickeln und zu evaluieren, werden in der Hauptstudie die Erkenntnisse der Vorstudie zur weitergehenden Analyse angewendet. Daher sind in den einzelnen Studien unterschiedliche Analysetechniken notwendig.

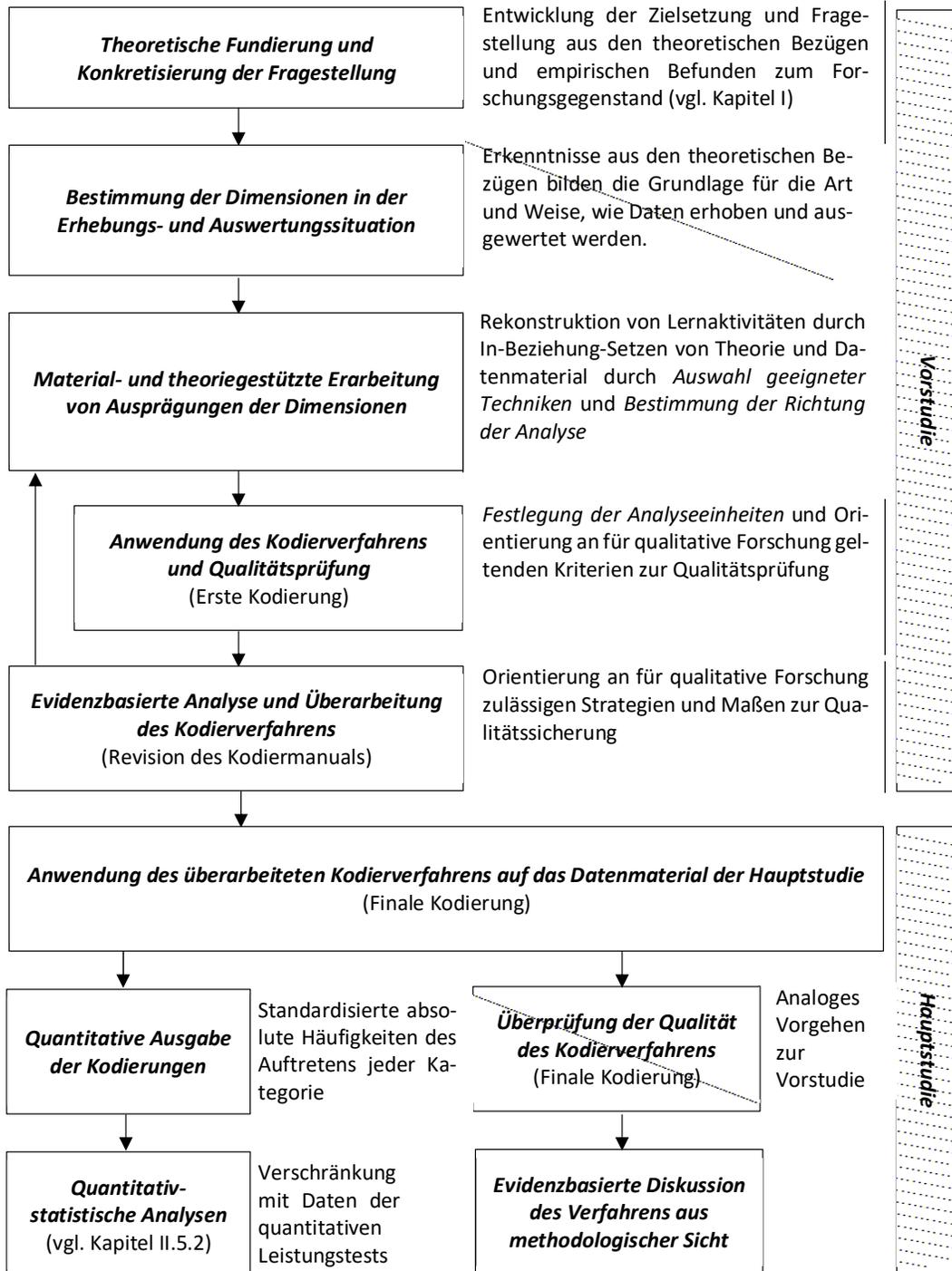


Abbildung 14: Konkretisiertes Ablaufschema zur Lernprozessanalyse in dieser Untersuchung

Das Vorgehen in der Vorstudie umfasst Analysetechniken der zusammenfassenden Inhaltsanalyse (Mayring, 2015) und hat eine induktive Kategorienbildung zum Ziel. Dazu wird in einem ersten Schritt die Zielsetzung der Untersuchung in einen theoretischen Zusammenhang eingeordnet und mit bestehenden Forschungsergebnissen in Beziehung gesetzt (vgl. Kapitel I). Daraus ergeben sich bereits Hinweise, die letztlich auf die zu untersuchenden Merkmale und Aspekte (Dimensionen) führen, sodass in der Entwicklung eines Auswertungsverfahrens in der Vorstudie sowohl Verfahren der induktiven als auch deduktiven Kategorienbildung zum Einsatz gekommen sind. Da neben individuellen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler auch die Lernaktivitäten und Schwierigkeiten für erfolgreiches Lernen wichtig sind, müssen diese ebenfalls untersucht werden (Richtung der Analyse). Dazu müssen die Lernprozessdaten so erhoben werden, dass die Lernaktivitäten und Schwierigkeiten überhaupt ausgewertet werden können (vgl. II.4.2). Auf dieser Grundlage wurden anschließend Kategorien zur Beschreibung von Lernaktivitäten und Schwierigkeiten aus dem Material abgeleitet. Dazu wurden spezifische Techniken und Interpretationsregeln der zusammenfassenden Inhaltsanalyse angewendet (vgl. Mayring, 2015), um eine Reduktion des Datenmaterials auf die für die Forschungsfrage wesentlichen Dimensionen zu erreichen. Zunächst wurde ein Teil der Videodaten gesichtet und inhaltstragende Abschnitte und Sequenzen identifiziert (*Paraphrasieren*). Diese wurden anschließend zu übergeordneten Strukturen verdichtet (*Generalisierung auf Abstraktionsniveau*). Abschließend wurden inhalts- und bedeutungsgleiche Strukturen zu gemeinsamen Kategorien zusammengefasst (*Reduktion*). Die Kategorien wurden theoriegeleitet hierarchisch zu einem Kategoriensystem strukturiert. Für jede Kategorie wurde eine konkrete Beschreibung der Ausprägung formuliert und durch Indikatoren (Ankerbeispiele) aus dem Datenmaterial konkretisiert.

Eine große Stärke der qualitativen Inhaltsanalyse ist die Offenheit des Verfahrens zur Verschränkung gewonnener Erkenntnisse mit anderen Daten. So können die beim Kodieren gewonnenen Daten zum Auftreten der einzelnen Kategorien in ihrem Auftreten und ihrer absoluten Ausprägung aus MAXQDA 2018 exportiert und mit Hilfe quantitativer Verfahren weitergehend untersucht werden. Im Rahmen dieser Untersuchung wird der Zusammenhang zwischen den Ausprägungen von Lernaktivitäten und Schwierigkeiten und den individuellen Lernvoraussetzungen und deren Wirkung auf den individuellen Lernerfolg näher analysiert. Dazu wird das Auftreten einer Kategorie zunächst als absolute Häufigkeit ausgegeben und anschließend über die Gesamtlänge der Bearbeitungsdauer standardisiert.

Umsetzung, Evaluation und Optimierung der Lernprozessanalyse

Die Anwendung eines entwickelten Kategoriensystems und dem zugrunde liegenden Auswertungsverfahren wird als Kodieren bezeichnet. Technisch wurde die Kodierung in dieser Untersuchung mit Hilfe des Programms MAXQDA 2018 (vgl. Rädiker & Kuckartz, 2019) umgesetzt. Eine Kodierung der Daten kann dabei grundsätzlich orientiert an zusammenhängenden Sinneinheiten (turnbasiert) oder in zeitlich streng festgelegten Intervallen (zeitbasiert) stattfinden (Walpuski & Sumfleth, 2009). In dieser Untersuchung wurden die endgültige Kodierung aufgrund gewonnener Erkenntnisse in der Vorstudie ausschließlich zeitbasiert vorgenommen (Festlegung der Analyseeinheiten). Zur Kodierung wird das Kategoriensystem in ein Kodiermanual überführt. Dazu werden Hinweise zur Anwendung des Kategoriensystems (u.a. spezifische Kodierregeln) schriftlich festgehalten.

Mit dem Kodiermanual wurden sämtliche Kodierer, die an der Auswertung der Lernprozessdaten beteiligt waren, umfassend am Beispiel ausgewählter Videos geschult (vgl. Wirtz & Caspar, 2002). In einer ersten Kodierung wurde das Kodiermanual anschließend auf weitere Videodaten angewendet, die nicht als Grundlage für die Entwicklung des Kategoriensystems oder der Kodiererschulung verwendet worden sind. Auf der Grundlage geltender Gütekriterien für qualitative Forschung (vgl. Abschnitt II.5.3) wurde das Kodiermanual evaluiert und optimiert. Dieses Vorgehen kann als zyklischer Prozess verstanden werden, da ausgehend von den Ergebnissen einer ersten Qualitätsprüfung das Kategoriensystem überarbeitet oder erweitert wird, bis eine ausreichend hohe Qualität des Kodierverfahrens erreicht wird. Dabei wurde nach Abschluss des ersten Kodierdurchgangs in der Vorstudie die Beobachterübereinstimmung ermittelt (vgl. Abschnitt II.5.3) und auf dieser Grundlage das verwendete Kodiermanual und Verfahren mit allen beteiligten Kodierern reflektiert und diskutiert, was Mayring (2015) unter der Strategie der diskursiven Validierung zusammenfasst.

Das überarbeitete Kodierverfahren wurde abschließend in der Hauptstudie auf das Datenmaterial der Hauptstudie angewendet (finale Kodierung). Ziel des Auswertungsverfahrens der Hauptstudie ist es, den Lernprozess mit Hilfe der gewonnenen Kategorien strukturierend auszuwerten (Mayring, 2015).

Aufbereitung und Verarbeitung qualitativ erhobener Daten

Um die in der qualitativen Lernprozessanalyse erhobenen Daten mit quantitativen Daten in Beziehung setzen zu können, wurden die absoluten Häufigkeiten der kodierten Merkmale über die Dauer des Bearbeitungsprozesses standardisiert. Dieses Verfahren wurde für die quantitative Erfassung der genutzten Lerntätigkeiten

in der vorliegenden Untersuchung angewendet. Für die beobachtbaren Schwierigkeiten werden direkt die absoluten Häufigkeiten in die quantitativen Analysen aufgenommen.

II.5.2 Quantitative Forschungsperspektive

Zur gezielten Untersuchung quantitativer Daten liegt ein breites Instrumentarium unterschiedlicher Methoden vor (vgl. u.a. Döring & Bortz, 2016; Rasch & Frieze, 2010). Ausgehend von der Zielsetzung der Untersuchung stellen insbesondere Verfahren zur empirischen Untersuchung von Unterschieden und Zusammenhänge einen wichtigen Bezugspunkt in der Methodik dar. Dazu werden zunächst die in der Untersuchung angewendeten Verfahren zur Datenskalisierung sowie Beurteilung der Testgüte vorgestellt. Auf dieser Grundlage werden abschließend die genutzten Methoden und Verfahren sowie die statistischen Größen und deren Interpretation zur Beantwortung der Forschungsfragen dargestellt.

Datenskalisierung und Messqualität

Die Auswertung der Leistungsdaten erfolgt mit Hilfe probabilistischer Skalierungsverfahren, deren Einsatz sich in der Kompetenzmessung bereits vielfach bewährt hat (vgl. Hartig & Frey, 2013; Rost & Walter, 2011). Insbesondere im Zusammenhang mit komplexen Testdesigns, wie in dieser Untersuchung bei der Erfassung des konzeptbezogenen Fachwissens umgesetzt, bieten probabilistische Skalierungsverfahren statistische abgesicherte Verfahren zur gemeinsamen und vergleichbaren Skalierung von Leistungsdaten (Kolen & Brennan, 2014). Die Schätzung der Personenparameter als individuelle Kompetenzausprägungen in den einzelnen Leistungstests erfolgt im Rahmen der vorliegenden Untersuchung unter Anwendung des Rasch-Modells (Sälzer, 2016; Strobl, 2015; Walter, 2005), das im Kontext bildungsbezogener Forschung häufig verwendet wird (Boone, Staver & Yale, 2014). Dabei wird die individuelle Kompetenzausprägung aus dem Antwortverhalten als latentes Konstrukt geschätzt (Döring & Bortz, 2016; Rost, 2004). Die Wahrscheinlichkeit ein Item richtig zu beantworten $P(X_{pi} = 1)$ hängt dabei von der Fähigkeit einer Person ϑ_p und der Schwierigkeit eines Items ξ_i ab (vgl. Formel 1).

Formel 1: Modellgleichung für den logistischen Zusammenhang der Lösungswahrscheinlichkeit eines Items in Abhängigkeit von Item- und Personenparameter im dichotomen Rasch-Modell (vgl. Rasch, 1960)

$$P(X_{pi} = 1 | \vartheta_p, \xi_i) = \frac{\exp(\vartheta_p - \xi_i)}{1 + \exp(\vartheta_p - \xi_i)}$$

ϑ_p : Personenparameter für Person p
 ξ_i : Itemparameter für Item i

Für mehrstufige Items, bei denen Probanden für ein Item einen Zustimmungswert angeben, wird in der empirischen Bildungsforschung auf das Partial-Credit-Modell zurückgegriffen (u. a. Eggert & Bögeholz, 2014). Dieses ermöglicht die Skalierung von Fragebögen mit mehrstufigen Items und lässt sich analog zum dichotomen Rasch-Modell interpretieren und diskutieren (Strobl, 2010).

Besonders vorteilhaft zur validen Schätzung der Itemparameter ist das Verfahren der Marginal-Maximum-Likelihood (MML) mit davon ausgehender Schätzung von Weighted-Likelihood-Estimates (WLE) als beste Punktschätzer für individuelle Personenfähigkeiten (Walter, 2005; Rost, 2004; Embretson & Reise, 2000). Im Rahmen dieser Untersuchung werden deshalb das MML-Schätzverfahren sowie WLE-Schätzer zur Rasch-Skalierung der Daten herangezogen. Die Umsetzung erfolgt mit Hilfe der freien Statistiksoftware R unter Anwendung des Pakets „Test Analysis Modules (TAM)“ (Robitzsch, Kiefer, & Wu, 2020). Die Daten zu den kognitiven Grundfähigkeiten, dem prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren sowie den affektiven Schülermerkmalen konnten direkt in einem Rasch-Modell skaliert werden. Zur Skalierung der Leistungstests zum konzeptbezogenen Fachwissen in der Chemie wurde aufgrund des Multi-Matrix-Design der Testhefte ein eigenes Verfahren zur geankerten Skalierung (vgl. Abbildung 15) in Anlehnung an bewährte und valide Techniken (vgl. Kolen & Brennan, 2014) umgesetzt.

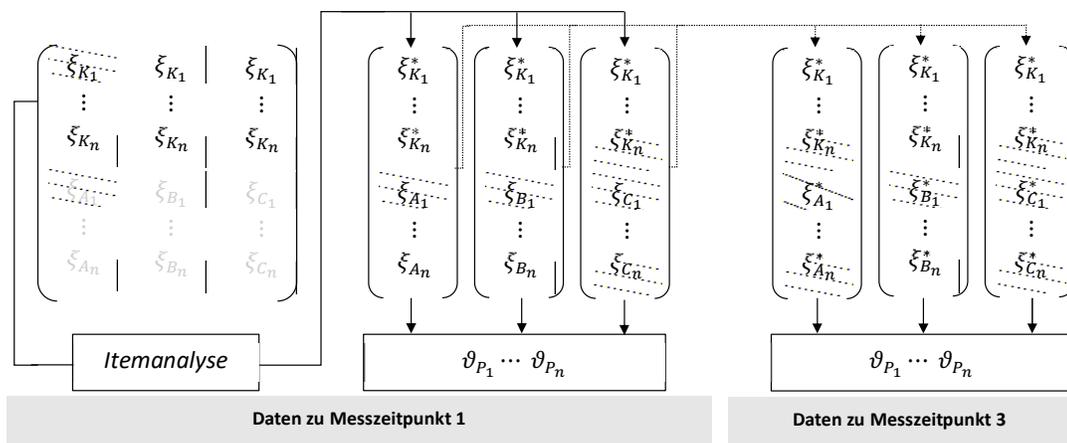


Abbildung 15: Design zur geankerten Skalierung der Tests zum konzeptbezogenen Fachwissen in der Chemie

Ausgehend von einer gemeinsamen Skalierung aller Testhefte wurden die Itemparameter zu den Kernideen im Rahmen einer Itemanalyse auf Messgenauigkeit, Differential-Item-Functioning (DIF) und Item-Parameter-Drift (IPD) untersucht. Die Bestimmung von DIF und IPD erfolgte nach der Mantel-Haenszel-Methode (vgl. Penfield & Camilli, 2007) und dem Paket „difR“ in R (Magis, Beland, & Raiche, 2018). Für das Ankern wurden ausschließlich jene Items herangezogen, die hinreichend messgenau sind und hinsichtlich DIF und IPD unauffällig sind. Geeignete Items gehen anschließend mit fixierten Itemparametern (ξ_X^*) in die Skalierung ([...]) der einzelnen Testhefte zu Messzeitpunkt 1 ein. Die Itemparameter zum spezifischen Wissen zum ersten Messzeitpunkt wurden frei geschätzt (ξ_X). Auf dieser Grundlage erfolgte die Schätzung der Personenfähigkeiten (ϑ_{P_n}). Die Skalierung der Tests zu Messzeitpunkt 3 erfolgte ausschließlich mit fixierten Itemparametern aus Messzeitpunkt 1 mit anschließender Schätzung der Personenfähigkeiten.

Zur Beurteilung der Qualität der Modellschätzung probabilistisch-skaliertes Leistungstests wurden auf Itemebene gewichtete Abweichungsquadrate (wMNSQ) und deren t-Statistik und auf Testebene Reliabilitätskoeffizienten herangezogen (Boone et al., 2014; Rost, 2004). Gewichtete Abweichungsquadrate (weighted Mean Square), auch kurz wMNSQ oder Infit-MNSQ, geben Auskunft darüber, wie gut die Konformität eines Items in einem IRT-Modell ist (Boone et al., 2014; Rost, 2004). Statistisch ergibt sich der wMNSQ-Wert eines Items durch das Verhältnis beobachteter und erwarteter Abweichung beim Lösen des Items durch alle Personen (vgl. Boone et al., 2014). Der Erwartungswert für wMNSQ-Werte liegt ausgehend von seiner Berechnung bei einem Wert von 1, sodass unter Berücksichtigung psychometrischer Erkenntnisse (Wang & Chen, 2005) gewichtete Abweichungsquadrate im Intervall $0,77 \leq wMNSQ \leq 1,30$ mit $-2,00 \leq t \leq 2,00$ toleriert werden können.

Analyse von empirischen Unterschieden

Um im Rahmen der Untersuchung die Wirksamkeit der eingesetzten Lernumgebungen hinsichtlich relevanter Variablen zu überprüfen, wurden statistische Hypothesentests genutzt. Hierzu stehen parametrische (t-Test für den Unterschied zwischen zwei Gruppen und ANOVA für den Unterschied zwischen mehreren Gruppen) und nichtparametrische Tests (Mann-Whitney-U-Test für den Unterschied zwischen zwei Gruppen und Kruskal-Wallis-Test für den Unterschied zwischen mehreren Gruppen) zur Verfügung (Rasch & Frieese, 2010). Zur Beurteilung des systematischen Unterschieds einer Variablen zwischen Gruppen (Signifikanz) werden p-Werte herangezogen (Tabelle 20).

Tabelle 20: In der Untersuchung herangezogene Wertebereiche zur Beurteilung der Signifikanz

Wertebereiche für Signifikanzwerte p	Interpretation
In dieser Arbeit (vgl. Bortz & Döring, 2016)	
$p > .05$	<i>nicht signifikant</i> (n.s.)
$.05 > p \geq .01$	<i>signifikant</i> (*)
$.01 > p \geq .001$	<i>hoch signifikant</i> (**)
$p < .001$	<i>höchst signifikant</i> (***)

Um weitergehend die Größe des systematischen Unterschieds zu bewerten, werden im Rahmen der Untersuchung die Effektstärkemaße Cohens d und das partielle η^2 (Rasch & Friese, 2010) in der Statistiksoftware R unter Anwendung des Pakets „effsize“ (Torchiano, 2020) ermittelt und zur Beurteilung des Unterschieds herangezogen (Tabelle 21). Je nach Richtung der untersuchten Unterschiede kann Cohens d negative oder positive Werte annehmen. In Bezug auf den Unterschied zwischen zwei Messzeitpunkten lässt ein negativer Effekt auf eine Verschlechterung, ein positiver Effekt hingegen auf eine Verbesserung vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt schließen.

Ist die zu untersuchende Variable normalverteilt, die Varianz der untersuchten Variable in den zu vergleichenden Gruppen ähnlich ausgeprägt (Homoskedastizität) und die Stichprobe hinreichend groß, können parametrische Tests mit höherer Teststärke herangezogen werden (vgl. Rasch & Friese, 2010). Zur Überprüfung werden in der vorliegenden Untersuchung sowohl graphische Darstellungen zur Sichtprüfung als auch der Shapiro-Wilk-Test herangezogen, da bei diesem Test von einer angemessenen Teststärke bei vergleichsweise kleinen Stichproben ausgegangen werden kann (Yap & Sim, 2011). Soweit nicht anders angegeben, liegen für die Analysen die geforderten Voraussetzungen vor.

Tabelle 21: In der Untersuchung herangezogene Wertebereiche zur Beurteilung von Effektstärken

Wertebereiche für Effektstärkemaße		Interpretation
Cohens d	partielles η^2	
In dieser Arbeit (Cohen, 1988)	In dieser Arbeit (Cohen, 1988)	
$ d \geq 0.80$	$\eta^2 \geq 0.14$	<i>großer Effekt</i>
$ d \geq 0.50$	$\eta^2 \geq 0.06$	<i>mittlerer Effekt</i>
$ d \geq 0.20$	$\eta^2 \geq 0.01$	<i>kleiner Effekt</i>
$ d < 0.20$	$\eta^2 < 0.01$	<i>vernachlässigbarer Effekt</i>

Zusätzlich wird in der vorliegenden Untersuchung zur Beurteilung der Effektivität der Lernumgebungen auch der Lernzuwachs zwischen Messzeitpunkt 1 und Messzeitpunkt 3 herangezogen (vgl. Formel 2).

Formel 2: Gleichungen zur Berechnung von Lernerfolg in der vorliegenden Untersuchung

Absoluter Lernzuwachs	Residualer Lernzuwachs
$\Delta_{abs} = \vartheta_{MZP3} - \vartheta_{MZP1}$	$\Delta_{res} = \vartheta_{MZP3} - \vartheta_{regr}$

Hierbei wird neben der absoluten Differenz zwischen den Messzeitpunkten (absoluter Lernzuwachs) auch die Differenz zwischen tatsächlicher (empirischer Messwert) und erwarteter Personenfähigkeit (Prädiktion der Personenfähigkeit zu Messzeitpunkt 3 aus der Personenfähigkeit zu Messzeitpunkt 1) zu Messzeitpunkt 3 als Residuum ermittelt (vgl. Formel 2).

Analyse von empirischen Zusammenhängen

In der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung werden zur Untersuchung von Zusammenhängen im Wesentlichen Korrelations- und Regressionsanalysen genutzt (vgl. u.a. Walpuski & Ropohl, 2014). Korrelationsanalysen bieten die Möglichkeit, den Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen statistisch zu erfassen. Dazu stehen unterschiedliche, vom Skalenniveau abhängige, Koeffizienten als statistische Maße zur Verfügung (vgl. Wirtz & Nachtigall, 2012). Da in der vorliegenden Untersuchung ausschließlich nominal- und metrisch-skalierte Merkmale miteinander in Beziehung gesetzt werden, erfolgt die Analyse von Korrelationen mit den in Tabelle 22 angegebenen Korrelationskoeffizienten.

Tabelle 22: Korrelationskoeffizienten in Abhängigkeit des Skalenniveaus

Skalenniveau	nominal (dichotom)	metrisch
nominal (dichotom)	<i>Phi-Koeffizient</i> (φ)	<i>Punktbiseriale Korrelation</i> (r_{pbis})
metrisch	<i>Punktbiseriale Korrelation</i> (r_{pbis})	<i>Pearson Korrelation</i> (r_P)

Da die in Tabelle 22 genannten Korrelationskoeffizienten in einem Wertebereich von $0.00 \geq |r| \geq 1.00$ definiert sind, lässt sich für eine Beurteilung der Stärke des Zusammenhangs ein gemeinsames Bezugssystem zugrunde legen (vgl. Tabelle 23).

In der vorliegenden Untersuchung wird ein angepasstes Bezugssystem genutzt, da für die untersuchten Merkmale keine hohen Korrelationen zu erwarten sind und zu strenge Wertebereiche zu einem Ausschluss möglicherweise lernrelevanter Merkmale in weiteren Analysen führen kann. Gleichzeitig können jedoch große Zusammenhänge zwischen Merkmalen hinsichtlich bestehender Multikollinearitäten sicher identifiziert werden.

Tabelle 23: In der Untersuchung herangezogene Wertebereiche zur Beurteilung von Korrelationen

Wertebereiche für den Korrelationskoeffizienten			Interpretation
Cohen (1988)	Zöfel (2013)	In dieser Arbeit	
$ r \geq .50$	$ r \geq .90$	$ r \geq .80$	<i>sehr starke Korrelation</i>
	$.90 > r \geq .70$	$.80 > r \geq .60$	<i>starke Korrelation</i>
$.50 > r \geq .30$	$.70 > r \geq .50$	$.60 > r \geq .40$	<i>mittlere Korrelation</i>
$.30 > r \geq .10$	$.50 > r \geq .20$	$.40 > r \geq .20$	<i>geringe Korrelation</i>
$ r < .10$	$ r < .20$	$ r < .20$	<i>sehr geringe Korrelation</i>

Korrelationen liefern zwar Hinweise auf den Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen, lassen jedoch keine Rückschlüsse auf die Wirkrichtung zu (Wirtz & Nachtigall, 2012). Ein vielfach bewährtes Verfahren zur Analyse kausaler Zusammenhänge stellt die Regression dar (Urban & Mayerl, 2018). Bei einer Regression wird der Zusammenhang zwischen einer abhängigen Variablen sowie einer oder mehrerer unabhängiger Variablen, sogenannte Prädiktoren, über eine Modellgleichung in Abhängigkeit des vorliegenden Skalenniveaus der abhängigen Variablen ermittelt. Da in der vorliegenden Untersuchung ausschließlich metrisch und nominal skalierte Variablen auf deren Wirkungszusammenhänge untersucht werden, findet die gerichtete Zusammenhangsanalyse mit Hilfe der entsprechenden Regressionsmodelle statt. Ist die abhängige Variable metrisch skaliert, wird in der empirischen Bildungsforschung das Verfahren der linearen Regression angewendet (vgl. Urban & Mayerl, 2018), während zur Analyse nominalskalierte abhängiger Variablen das Verfahren der logistischen Regression zur Anwendung kommt (vgl. Kalisch & Meier, 2021). Bei der linearen Regression wird ein linearer Zusammenhang zwischen der abhängigen Variable und den Prädiktoren angenommen, während bei der logistischen Regression ein logistischer Zusammenhang zwischen der abhängigen Variable und den Prädiktoren die Grundlage für das Modell darstellt (vgl. Abbildung 16).

II Darstellung der Untersuchung

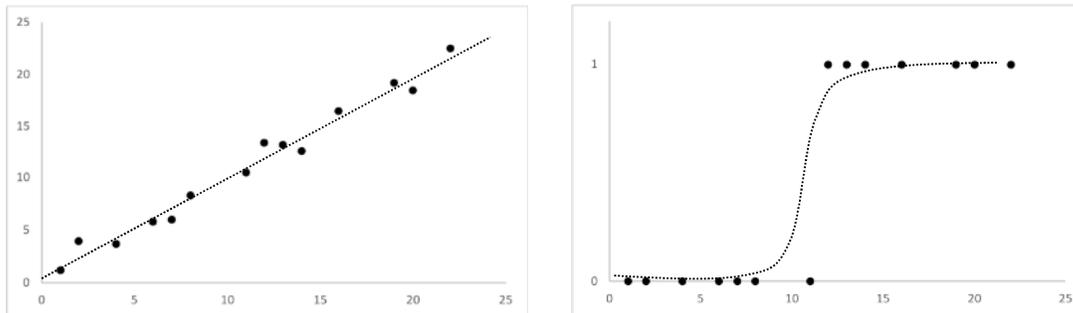


Abbildung 16: Modellfunktion bei der linearen (links) und logistischen (rechts) Regression

Sowohl bei der linearen Regression als auch bei der logistischen Regression können als Prädiktoren nominal-, ordinal- und metrisch-skalierte Variablen in das Modell aufgenommen werden (Urban & Mayerl, 2018). Für die Aufnahme der Prädiktoren in das Regressionsmodell stehen unterschiedliche Methoden zur Verfügung. Soll ein im Vorfeld festgelegtes Modell oder der Einfluss im Vorfeld geklärter Prädiktoren geprüft werden, werden alle Prädiktoren gleichzeitig und gemeinsam (Methode des Einschlusses) in das Modell aufgenommen (Urban & Mayerl, 2018). „Liegt nur eine Menge vorselektierter, wahrscheinlich relevanter Prädiktoren vor, aus denen ein Modell ermittelt werden soll, dann können auch schrittweise Methoden verwendet werden.“ (Schendera, 2011, S. 104). Hierbei werden die zu untersuchenden Prädiktoren entweder nacheinander in das Modell aufgenommen (schrittweise vorwärts) oder aus dem Modell eliminiert (schrittweise rückwärts) (Schendera, 2011). Da in der vorliegenden Untersuchung einerseits bereits mehrfach empirisch bestätigte Prädiktoren (individuelle Lernvoraussetzungen) und andererseits weitestgehend unbekannte Einflussgrößen (Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten) untersucht werden, werden beide Methoden in die Auswertung miteinbezogen.

Die Stärke des Einflusses eines Prädiktors wird mit Hilfe sogenannter Regressionskoeffizienten angegeben (vgl. Tabelle). Bei der linearen Regressionsanalyse wird hier der standardisierte Regressionskoeffizient (β) ermittelt, der aufgrund der Standardisierung einen Vergleich verschiedener Prädiktoren ermöglicht. In der logistischen Regressionsanalyse werden stattdessen Odd's Ratios (OR) als stochastische Chancen für die Änderung der abhängigen Variablen angegeben. Für die statistische Bedeutsamkeit der Regressionskoeffizienten wird deren Signifikanz überprüft.

Tabelle 24: In der Untersuchung herangezogene Wertebereiche zur Beurteilung von Regressionskoeffizienten

Wertebereiche für Regressionskoeffizienten		Interpretation
Standardisierter Regressionskoeffizient β	Odd's Ratio OR	
In dieser Arbeit Urban & Mayerl (2018)	In dieser Arbeit Kalisch & Meier (2021)	
$\beta > 0,00$	$OR > 1,00$	Steigerung der unabhängigen Variablen führt zu einer Steigerung der abhängigen Variablen
$\beta = 0,00$	$OR = 1,00$	kein Einfluss auf die abhängige Variable
$\beta < 0,00$	$OR < 1,00$	Senkung der unabhängigen Variablen führt zu einer Steigerung der abhängigen Variablen

Die Qualität der Modellierung der Wirkzusammenhänge durch ein Regressionsmodell wird im Wesentlichen über das Bestimmtheitsmaß R^2 ermittelt. Der Wert für R^2 gibt den Anteil an Varianz an, der durch das Regressionsmodell aufgeklärt wird und umfasst einen Wertebereich von $0.00 \leq R^2 \leq 1.00$ (Urban & Mayerl, 2018). Statistisch abgesichert wird die Passung des Modells über die Signifikanz des Regressionsmodells, die über die Interpretation des F -Werts (lineare Regression) oder des χ^2 -Werts (logistische Regression) und den daraus resultierenden Signifikanzwerten beurteilt wird.

II.5.3 Qualitätsstandards in empirischen Untersuchungen

Sowohl in der qualitativen als auch quantitativen empirischen Forschung haben sich in den letzten Jahren eigene und spezifische Gütekriterien etabliert. Mit Blick auf die hier vorgestellte Untersuchung als Kombination einer qualitativen und quantitativen Forschungsperspektive werden dieser Untersuchung übergeordnete Qualitätsstandards zugrunde gelegt. Döring & Bortz (2016) schlagen hierzu die Wissenschaftlichkeit des Forschungsanliegens, Wissenschafts- und Forschungsethik, Dokumentation des Forschungsvorhabens sowie die Wissenschaftlichkeit des Forschungsprozesses vor. Insbesondere im Zusammenhang mit der Wissenschaftlichkeit des Forschungsprozesses haben sich in der quantitativen Forschung Objektivität, Validität und Reliabilität als Gütekriterien etabliert (Döring & Bortz, 2016; Bühner, 2011).

II Darstellung der Untersuchung

Tabelle 25: Integrierte Übersicht zu qualitätssichernden Maßnahmen in der qualitativen und quantitativen Forschung

Gütekriterium	Qualitätssichernde Maßnahmen aus der Perspektive der ...	
	qualitativen Forschung (Göhner & Krell, 2020; Flick, 2020; Mayring, 2015)	quantitativen Forschung (Döring & Bortz, 2016; Bühner, 2011; Moosbrugger & Keleva, 2008)
Objektivität	<p>Standardisierte Bedingungen/Settings zur Erhebung und Auswertung von Daten</p> <p>Einweisung und Schulung von Kodierern zur Erhebung und Auswertung von Daten</p> <p>Nachvollziehbare Dokumentation des Forschungsprozesses (u. a. Erstellung von Testleiter- und Kodiermanualen zur Erhebung und Auswertung von Daten)</p> <p>Systematisches und regelgeleitetes Vorgehen bei der Auswertung und Interpretation von Daten</p> <p>Statistische Prüfung der Beobachterübereinstimmung</p> <p>Formale Aspekte des Kategoriensystems</p>	<p>Interpretation von Daten auf der Grundlage festgelegter Normen und Referenzwerte</p>
Validität	<p>Theorie- und zielgeleitete Auswahl einer untersuchten Stichprobe unter besonderer Berücksichtigung der Relevanz für den Forschungsgegenstand</p> <p>Induktive und Deduktive Kategorienbildung</p> <p>Kommunikative Validierung</p> <p>Triangulation von Daten</p> <p>Diskussion des Kategoriensystems</p>	<p>Entwicklung von Messinstrumenten auf der Grundlage eines möglichst exakt beschriebenen Konstrukts (u. a. klare inhaltliche Zielsetzungen)</p> <p>Expertenratings zur Operationalisierung des erfassten Konstrukts</p> <p>Statistische Bestimmung diskriminanter oder konvergenter Validität</p>
Reliabilität	<p>Einweisung und Schulung von Kodierern zur Erhebung und Auswertung von Daten</p> <p>Statistische Prüfung der Beobachterübereinstimmung</p>	<p>Statistische Prüfung der Reliabilität auf der Grundlage von Reliabilitätskoeffizienten</p>

Diese stehen in ihrer Bedeutung in einem engen Bezug zu Qualitätsstandards in der qualitativen Forschung (vgl. Flick, 2020; Krippendorff, 2019; Döring & Bortz, 2016; Mayring, 2015) und werden auch in der qualitativen naturwissenschafts- didaktischen Forschung zur Sicherung und Beurteilung der Qualität herangezogen

(Göhner & Krell, 2020). Im Folgenden werden daher Objektivität, Validität und Reliabilität einer strukturierten Auseinandersetzung mit Qualitätsstandards in der vorliegenden Untersuchung zugrunde gelegt. Objektivität beschreibt die Unabhängigkeit und Neutralität der Forschung von äußeren Einflüssen und umfasst Aspekte zur Durchführung, Auswertung und Interpretation (Döring & Bortz, 2016). In einem engen Zusammenhang mit der Objektivität steht die Reliabilität, mit der die Genauigkeit eines Messverfahrens gemeint ist (Döring & Bortz, 2016). Eine hohe Objektivität und Reliabilität einer Untersuchung lassen jedoch keine Rückschlüsse darauf zu, wie gut der Forschungsgegenstand abgebildet und erfasst worden ist. Validität umfasst dabei sowohl Qualitätsaspekte innerhalb der Untersuchung (interne Validität) als auch Aspekte zur Allgemeingültigkeit der Erkenntnisse für das Forschungsfeld (externe Validität) und kann daher hinsichtlich Inhaltsvalidität, Konstruktvalidität und Kriteriumsvalidität weiter ausdifferenziert werden (Döring & Bortz, 2016; Hartig, Frey, & Jude, 2008). Zur Sicherung der Qualität qualitativer und quantitativer Forschungsprozesse stehen verschiedene Maßnahmen zur Verfügung, die in ihrer Zielsetzung wiederum mit den übergeordneten Gütekriterien in Beziehung stehen. Trotz unterschiedlicher Forschungsparadigmen lassen sich für beide Forschungsperspektiven qualitätssichernde Maßnahmen zusammenführen und gegenüberstellen (vgl. Tabelle 25). In der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung stehen zur statistisch abgesicherten Beurteilung der Güte von Messverfahren zwei bewährte Maße zur Verfügung: Beobachterübereinstimmungen für offene Messverfahren (vgl. Göhner & Krell, 2020) und Reliabilitätskoeffizienten für geschlossene Messverfahren (vgl. Döring & Bortz, 2016).

Die Beobachterübereinstimmung beschreibt den Anteil an Übereinstimmung, den unterschiedlicher Kodierer bei der Auswertung von Daten erzielen (Wirtz & Caspar, 2002). Dazu werden Teile des vorliegenden Datenmaterials (in der Regel 10-50 %, vgl. Mayring, 2015) durch unabhängige Kodierer ausgewertet. Zur Beschreibung stehen verschiedene statistische Größen Verfügung (vgl. Wirtz & Caspar, 2002). Ein wichtiges Maß für die Beobachterübereinstimmung zwischen Kodierern ist Cohens κ (vgl. Formel 3)

Formel 3: Gleichung zur Berechnung von Cohens κ zur Beobachterübereinstimmung (Cohen, 1960)

$$\kappa = \frac{p_0 - p_e}{1 - p_e}$$

p_0 : relativer Anteil identischer Einschätzung beider Kodierer
 p_e : relativer Anteil der erwarteten zufälligen Übereinstimmung beider Kodierer

Eine Beurteilung der Größe von Beobachterübereinstimmungen ist abhängig von der Komplexität des untersuchten Merkmals (vgl. Wirtz & Caspar, 2002). Für die in der vorliegenden Untersuchung erfassten und untersuchten Merkmale werden folgende Bewertungskriterien für Cohens κ zugrunde gelegt (vgl. Tabelle 26).

Tabelle 26: Bewertungskriterien für Beobachterübereinstimmungen

Wertebereiche für κ (ungewichtet)				Interpretation
Wirtz & Caspar (2002)	Gwet (2014)	Frick & Semmel (1978)	In dieser Arbeit Gwet (2014)	
$\kappa \geq .75$	$\kappa \geq .75$	$\kappa \geq .75$	$\kappa \geq .75$	hervorragend
$.60 \leq \kappa < .75$	$.60 \leq \kappa < .75$		$.60 \leq \kappa < .75$	gut
$\kappa < .60$	$.40 \leq \kappa < .60$	$\kappa < .75$	$.40 \leq \kappa < .60$	fragwürdig
	$\kappa < .40$		$\kappa < .40$	unzureichend

Bei geschlossenen Messverfahren wird häufig die Reliabilität eines Tests mit Hilfe eines Reliabilitätskoeffizienten angegeben. Für die Berechnung der Reliabilität von geschätzten WLE-Parametern schlägt Adams (2005) einen eigenen Reliabilitätskoeffizienten vor (vgl. Formel 4).

Formel 4: Gleichung zur Berechnung der Reliabilität von geschätzten WLE-Parametern (Adams, 2005)

$$\rho_{WLE} = 1 - \frac{\hat{\sigma}_{\vartheta}^2}{\sigma_{\vartheta}^2} = \frac{\sigma_{\vartheta}^2 - \hat{\sigma}_{\vartheta}^2}{\sigma_{\vartheta}^2}$$

σ_{ϑ}^2 : Varianz der geschätzten Fähigkeitsparameter ϑ
 $\hat{\sigma}_{\vartheta}^2$: Standardfehler der geschätzten Fähigkeitsparameter ϑ

Für die Beurteilung der Testreliabilität werden auch bei Reliabilitätskoeffizienten im Zusammenhang mit dem Rasch-Modell die aus der klassischen Testtheorie gültigen Wertebereiche herangezogen (vgl. Tabelle 27).

Tabelle 27: Bewertungskriterien für die Testreliabilität anhand eines Reliabilitätskoeffizienten ρ

Wertebereiche für Reliabilitätskoeffizienten ρ				Interpretation
Döring & Bortz (2016)	Ziegler & Bühner (2012)	Schecker & Gerdes (1999)	In dieser Arbeit	
$\rho \geq .80$	$\rho \geq .70$	$\rho \geq .70$	$\rho \geq .80$	hervorragend
$.60 \leq \rho < .80$			$.70 \leq \rho < .80$	akzeptabel
$\rho < .60$	$\rho < .70$	$\rho < .70$	$\rho < .70$	unzureichend

Da in der hier vorgestellten Untersuchung Zusammenhänge auf der Grundlage individueller Merkmale analysiert werden, werden möglichst hohe Reliabilitäten ($\rho \geq .70$) angestrebt.

Reliabilitätskoeffizienten geben Auskunft über die Genauigkeit, mit der ein Test ein zuvor beschriebenes Konstrukt erfasst und lassen sich daher als direktes Maß zur Beurteilung der Reliabilität eines Messverfahrens heranziehen. Beobachterübereinstimmungen lassen in ihrer Anlage primär Rückschlüsse auf die Objektivität der Auswertung zu (Mayring, 2015). In diesem Zusammenhang werden häufig Beurteilungen zwischen Kodierern (Intercoder-Übereinstimmungen) und zwischen unterschiedlichen Zeitpunkten eines Kodierers (Intracoder-Übereinstimmung) unterschieden. Letztere können stärker im Sinne der Reliabilität eines Messverfahrens gedeutet werden, auch wenn Überlegungen zur Reliabilität nur sinnvoll bei homogenen Konstrukten anzustellen sind (vgl. Döring & Bortz, 2016). In dieser Untersuchung wird aus organisatorischen und zeitökonomischen Gründen auf die Bestimmung der Intracoder-Übereinstimmung verzichtet.

Für Untersuchungen im Sinne eines Mixed-Methods-Designs werden zusätzlich zu den für die quantitativen und qualitativen Anteile relevanten Qualitätsstandards weitere spezifische Gütekriterien diskutiert. O’Cathain (2010) gibt hier vor allem die Planungsqualität, die Qualität des gewählten Mixed-Methods-Designs, die Qualität der erhobenen Daten, die Qualität der Verzahnung qualitativer und quantitativer Auswertung sowie Repräsentativität und Reichweite der Erkenntnisse im Sinne eines praxisbezogenen Ertrags an. Diese Aspekte werden in ähnlicher Form ebenfalls in den quantitativen und qualitativen als Nebengütekriterien aufgeführt (Döring & Bortz, 2016) und können besonders zur abschließenden Reflexion und Diskussion einer Untersuchung herangezogen werden.

III VORSTUDIE

III.1 Ziele und spezifische Merkmale der Vorstudie

Entsprechend der in Abschnitt II.1 formulierten Zielsetzung der Untersuchung, liegt der Schwerpunkt der Vorstudie im Wesentlichen auf der Entwicklung und Evaluation von Verfahren, die in der anschließenden Hauptstudie zur Datenverarbeitung genutzt werden können. Dies betrifft vor allem die Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung von Lernaktivitäten und Schwierigkeiten, das insbesondere in heterogenen Stichproben genutzt werden kann, sowie die Entwicklung und Adaption quantitativer Messverfahren zur Erfassung leistungsbezogener Lernendenmerkmale. Damit dient die Vorstudie der Beantwortung der ersten beiden Forschungsfragen 1a und 1b.

Zur Evaluation der quantitativen Messverfahren wurde auf bewährte Methoden zur Überprüfung und Optimierung von Leistungstests zurückgegriffen. Für das Verfahren der Lernprozessanalyse wurde das Verfahren der zusammenfassenden Inhaltsanalyse (Mayring, 2015) angewendet. Bei der zusammenfassenden Inhaltsanalyse wird das Datenmaterial mit Hilfe spezifischer Analyse- und Interpretationstechniken so reduziert, „[...] dass die wesentlichen Inhalte erhalten bleiben [und] durch Abstraktion ein überschaubarer Corpus [geschaffen wird], der immer noch Abbild des Grundmaterials ist.“ (Mayring, 2015, S. 67). Im Rahmen der Vorstudie können dadurch Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten als Kategorien zur Auswertung von Lernprozessen beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben herausgearbeitet und hinsichtlich ihrer Messbarkeit überprüft werden. Da der Fokus der Lernprozessanalyse nicht auf einer quantitativen Auswertung der Prozessdaten liegt, erfolgt die Auswertung in Teilstichproben und unterschiedlichen Kodierdurchgängen.

Zur Beantwortung der beiden Forschungsfragen 1a und 1b können abschließend verschiedene Koeffizienten der Leistungstests und ein Kategoriensystem zur Auswertung von Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten herangezogen werden.

III.2 Stichprobe der Vorstudie

Die Vorstudie wurde im Schuljahr 2017/18 an Gymnasien und Gesamtschulen des Landes Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Die Schulen liegen in unterschiedlichen Klein- und Großstädten der Metropolregion Rhein-Ruhr. Insgesamt nahmen 146 Schülerinnen und Schüler des zweiten Lernjahres im Fach Chemie (entspricht an den getesteten Schulen der Jahrgangsstufe 9) an der Vorstudie teil. Mit Blick auf die Zusammensetzung der Stichprobe der Vorstudie und der Bildungsbeteiligung von Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufe 9 an nordrhein-westfälischen Schulen (vgl. Tabelle 28) zeigt sich ein deutlich geringerer Anteil gymnasialer Schülerinnen und Schüler in der Stichprobe.

Tabelle 28: Stichprobe der Vorstudie im Vergleich zur Bildungsbeteiligung von Schülerinnen und Schülern der 9. Jahrgangsstufe in Nordrhein-Westfalen im Schuljahr 2017/18 an allgemeinbildenden Schulformen

<i>Schulform</i>	Nordrhein-Westfalen^a		untersuchte Stichprobe	
	<i>N</i>	<i>%</i>	<i>N</i>	<i>%</i>
Hauptschule	17 861	9,97	-	-
Realschule	40 139	22,40	-	-
Sekundar- und Gesamtschule	53 751	30,00	109	74,66
Gymnasium	64 930	36,23	37	25,34
Sonstige	2 515	1,40	-	-
Gesamt	179 196	100,00	146	100,00

^a Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2018

Die Verteilung der Stichprobe auf die eingesetzten Lernumgebungen ist weitestgehend ausgeglichen (vgl. Tabelle 29). Zu berücksichtigen ist jedoch die fehlende Beteiligung gymnasialer Schülerinnen und Schüler bei der Bearbeitung der Lernumgebung zum Thema „Ozeanversauerung“. Da in der Vorstudie die Entwicklung, Erprobung und Optimierung von Mess- und Auswertungsverfahren im Vordergrund steht, wurde auf eine Nacherhebung verzichtet. Alle Lernenden haben zuvor noch nicht mit kooperativen Experimentieraufgaben im Chemieunterricht gearbeitet.

Tabelle 29: Datenstruktur in der Vorstudie

Datenumfang		Sekundar- und Gesamtschule		Gymnasium		Gesamt	
		N	%	N	%	N	%
Gesamt	Thema „Batterien“	21	56.76	16	43.24	37	100
	Thema „Ozeanversauerung“	54	100	0	0.00	54	100
	Thema „Trinkwasser“	34	61.82	21	38.18	55	100
Video	Thema „Batterien“	15	60.00	10	40.00	25	67.57
	Thema „Ozeanversauerung“	33	100.00	0	0.00	33	61.11
	Thema „Trinkwasser“	23	65.71	12	34.29	35	63.64

Von 63.7 % der Gesamtdaten liegen zusätzlich Lernprozessdaten des zweiten Messzeitpunktes vor. Für die Entwicklung und Evaluation eines Verfahrens zur Lernprozessanalyse konnten vollständige Lernprozessdaten (beide Lernaufgaben bearbeitet) von insgesamt 93 Schülerinnen und Schülern herangezogen werden, die aggregiert in 29 Kleingruppen vorliegen.

III.3 Ergebnisse der Vorstudie

III.3.1 Evaluation der eingesetzten Leistungstests

Im Folgenden werden die in der Vorstudie eingesetzten Leistungstests hinsichtlich der in ihrer Testgüte auf der Grundlage der in Kapitel II.5.2 vorgestellten Kriterien analysiert und diskutiert. Weiterführend wird abschließend die Qualität der Lernumgebungen in Bezug auf eine Veränderung im konzeptbezogenen Fachwissen evaluiert und ebenfalls diskutiert, da das konzeptbezogene Fachwissen in einem engen Zusammenhang mit der inhaltlichen Ausrichtung und Konzeption der entwickelten Lernumgebungen im Zusammenhang steht.

Test zu den kognitiven Grundfähigkeiten

Die kognitiven Fähigkeiten wurden ausschließlich zum ersten Messzeitpunkt erhoben. Der Test zu den kognitiven Fähigkeiten zeigt eine gute Reliabilität. Die Items weisen ebenfalls eine gute Modellpassung zum Rasch-Modell auf und sind allesamt hinreichend trennscharf (vgl. Tabelle 30).

Tabelle 30: Übersicht zur Güte des Tests zu den kognitiven Grundfähigkeiten (Vorstudie)

Messzeitpunkt 1	Itemfit	Trennschärfen	Reliabilität
<i>Kognitive Grundfähigkeiten</i>	$0.83 \leq wMNSQ \leq 1.12$	$.19 \leq r_{it} \leq .94$	$\rho_{wLE} = .726$

Da der Test eine hohe Testgüte aufweist und es sich um ein etabliertes Testinstrument handelt (vgl. Heller & Perleth, 2000), kann von einer angemessenen Erfassung der kognitiven Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler ausgegangen werden.

Zur Überprüfung der Passung zwischen Personenfähigkeiten und Itemschwierigkeiten werden bei IRT-skalierten Tests Personen- und Itemparameter häufig grafisch in einer gemeinsamen Abbildung dargestellt. Dies ist deshalb möglich, weil in der IRT-Skalierung Personen- und Itemparameter auf eine gemeinsame Skala, die sogenannte Logit-Skala, gebracht werden (vgl. Abbildung 17).

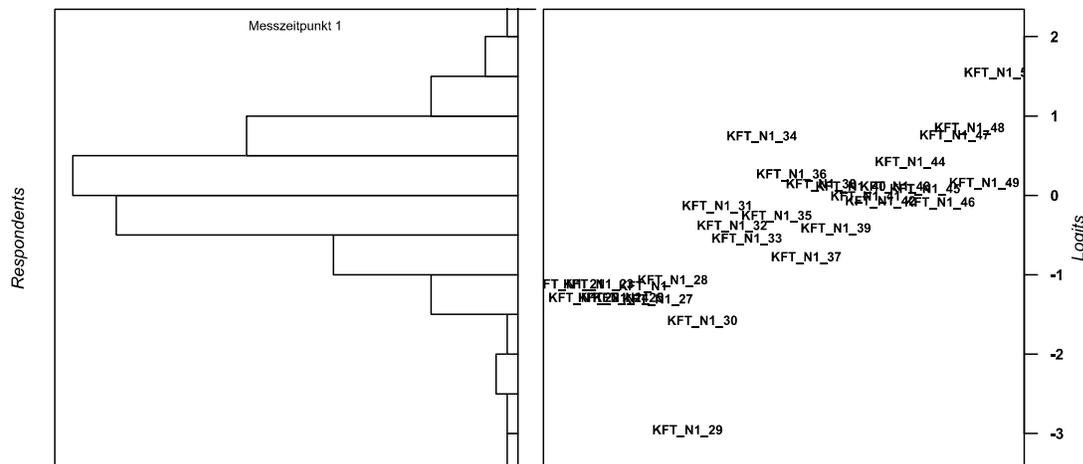


Abbildung 17: WrightMap zu den kognitiven Grundfähigkeiten

Die Personenfähigkeiten ($M_{\theta_p} = -0.02, SD_{\theta_p} = 0.93$) und Itemschwierigkeiten ($M_{\xi_i} = -0.40, SD_{\xi_i} = 0.91$) sind hinsichtlich zentraler Tendenz und Streuung ähnlich verteilt. Dies zeigt sich auch in der WrightMap: Es gibt sowohl sehr schwierige als auch sehr einfache Items, wodurch der Fähigkeitsbereich der Lernenden gut abgedeckt wird. Damit lässt sich insgesamt festhalten, dass sich der eingesetzte Test zu den kognitiven Grundfähigkeiten für die Untersuchung eignet.

Tests zum konzeptbezogenen Fachwissen in der Chemie

Das konzeptbezogene Fachwissen stellt ein Konstrukt dar, das unmittelbar mit den Lernumgebungen in Beziehung steht. Daher konnte hier auf keine bereits erprobten Tests zurückgegriffen werden. Auf der Grundlage der Lernziele zu den Lernumgebungen wurden Items konstruiert, die anschließend zu themenspezifischen Tests zum konzeptbezogenen Fachwissen zusammengestellt wurden. Die Überprüfung der Messqualität des Tests zum konzeptbezogenen Fachwissen erfolgt anhand statistischer Kennwerte zu den Messzeitpunkten 1 und 3. Die Analysen zeigen, dass für die Tests zu beiden Messzeitpunkten eine geringe Messqualität vorliegt (vgl. Tabelle 31). Die Reliabilitätskoeffizienten der Skalen liegen zu beiden Messzeitpunkten in einem inakzeptablen Bereich. Die für viele Items schlechten Trennschärfen ($r_{it} < 0,2$) deuten auf eine geringe Messgenauigkeit auf der Ebene einzelner Items hin.

Tabelle 31: Übersicht zur Güte der Tests zum konzeptbezogenen Fachwissen in der Chemie (Vorstudie)

Messzeitpunkt 1	Itemfit	Trennschärfen	Reliabilität
Wissen zum Thema „Batterien“	$0.67 \leq wMNSQ \leq 1.49$	$-0.28 \leq r_{it} \leq 0.49$	$\rho_{WLE} = .372$
Wissen zum Thema „Ozeanversauerung“	$0.63 \leq wMNSQ \leq 1.54$	$-0.03 \leq r_{it} \leq 0.50$	$\rho_{WLE} = .304$
Wissen zum Thema „Trinkwasser“	$0.55 \leq wMNSQ \leq 1.10$	$-0.07 \leq r_{it} \leq 0.55$	$\rho_{WLE} = .368$
Messzeitpunkt 3	Itemfit	Trennschärfen	Reliabilität
Wissen zum Thema „Batterien“	$0.62 \leq wMNSQ \leq 2.11$	$-0.06 \leq r_{it} \leq 0.58$	$\rho_{WLE} = .432$
Wissen zum Thema „Ozeanversauerung“	$0.68 \leq wMNSQ \leq 1.84$	$0.01 \leq r_{it} \leq 0.63$	$\rho_{WLE} = .547$
Wissen zum Thema „Trinkwasser“	$0.67 \leq wMNSQ \leq 1.60$	$-0.03 \leq r_{it} \leq 0.62$	$\rho_{WLE} = .527$

Zur Beurteilung der Angemessenheit wurden auch für die Tests zum konzeptbezogenen Fachwissen für beide Messzeitpunkte die entsprechenden WrightMaps herangezogen (vgl. Abbildungen 18 bis 20).

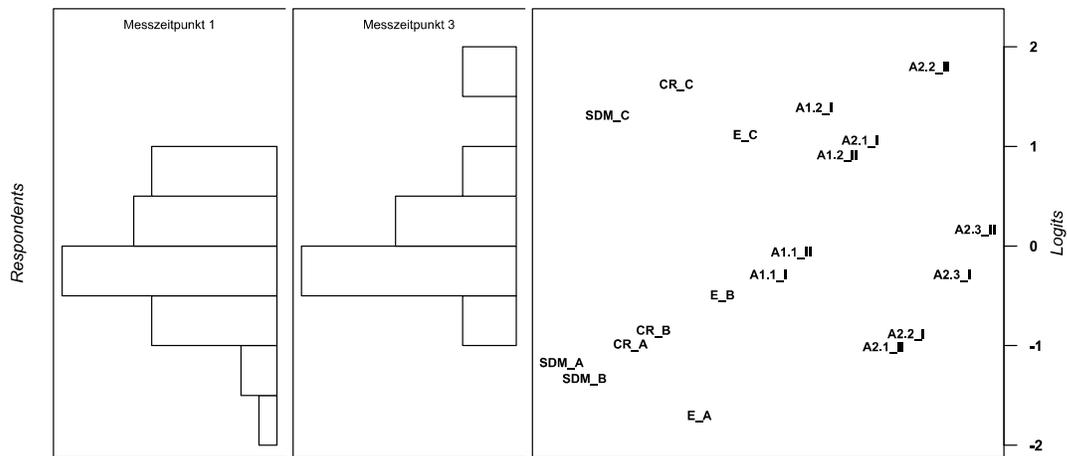


Abbildung 18: WrightMap zum konzeptbezogenen Fachwissen zum Thema Batterien

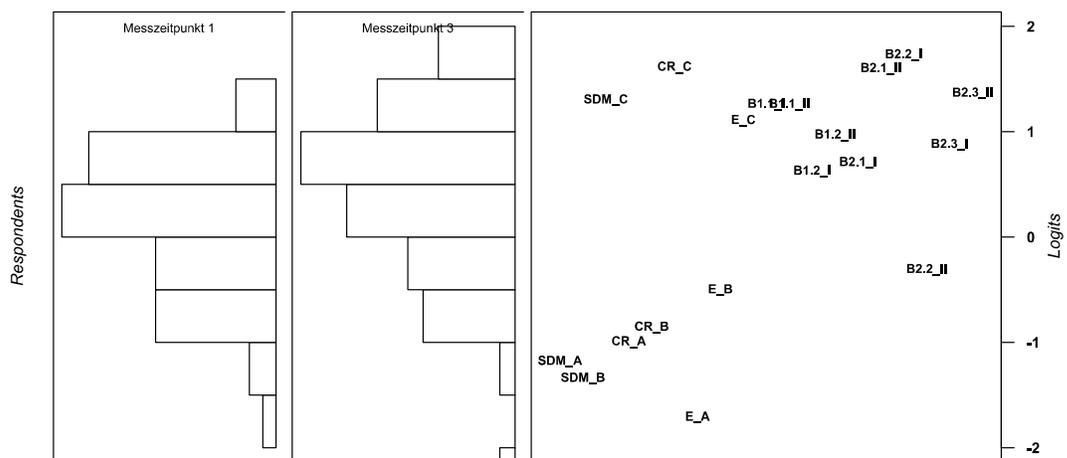


Abbildung 19: WrightMap zum konzeptbezogenen Fachwissen zum Thema Ozeanversauerung

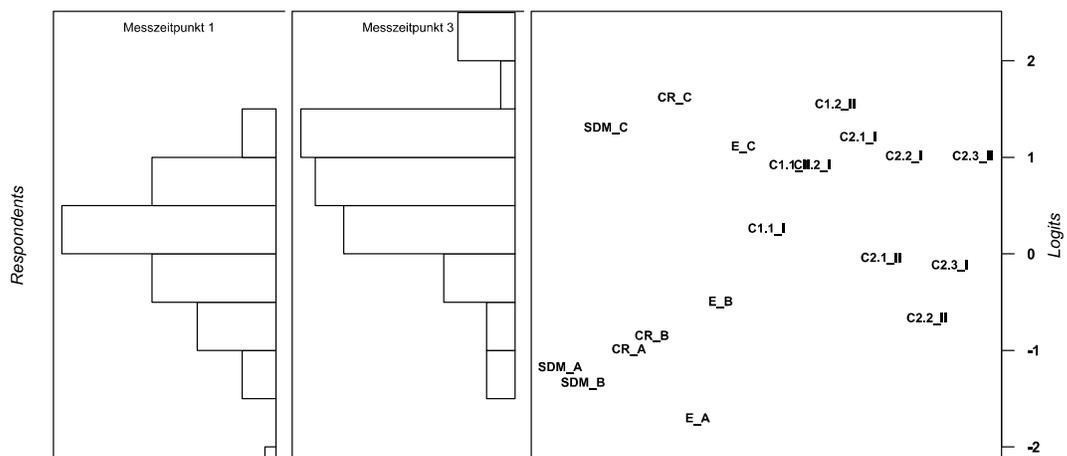


Abbildung 20: WrightMap zum konzeptbezogenen Fachwissen zum Thema Trinkwasser

Da die Itemparameter zum dritten Messzeitpunkt an jenen des ersten Messzeitpunkts fixiert wurden (vgl. Kapitel II.5.2), weisen die Itemparameter in den Tests zu den Themen „Batterien“ ($M_{\xi_i} = 0.01, SD_{\xi_i} = 1.12$), „Ozeanversauerung“ ($M_{\xi_i} = 0.39, SD_{\xi_i} = 1.15$) und „Trinkwasser“ ($M_{\xi_i} = 0.18, SD_{\xi_i} = 1.08$) zu beiden Messzeitpunkten gleiche Mittelwerte und Streuungen auf.

Zum ersten Messzeitpunkt liegen die Personenparameter im konzeptbezogenen Fachwissen zu den Themen „Batterien“ ($M_{\vartheta_p} = -0.13, SD_{\vartheta_p} = 0.68$), „Ozeanversauerung“ ($M_{\vartheta_p} = 0.08, SD_{\vartheta_p} = 0.65$) und „Trinkwasser“ ($M_{\vartheta_p} = -0.01, SD_{\vartheta_p} = 0.67$) deutlich unter den Itemparametern, sodass die Tests zum ersten Messzeitpunkt eine vergleichsweise hohe Schwierigkeit aufweisen. Dies lässt sich damit erklären, dass die Inhalte der Tests die Ziele der Lernumgebungen abbilden und die Lernenden daher noch nicht über das entsprechende Wissen verfügen. Die mittleren Itemschwierigkeiten zu Messzeitpunkt 1 unterscheiden sich nicht signifikant voneinander ($F(1,55) = 0.229, p = 0.634$), sodass die eingesetzten Tests vergleichbar schwierig sind. Zu Messzeitpunkt 3 lässt sich aufgrund der Bearbeitung der Lernumgebungen eine Steigerung der Personenparameter zu den Themen „Batterien“ ($M_{\vartheta_p} = 0.17, SD_{\vartheta_p} = 0.72$), „Ozeanversauerung“ ($M_{\vartheta_p} = 0.41, SD_{\vartheta_p} = 0.81$) und „Trinkwasser“ ($M_{\vartheta_p} = 0.66, SD_{\vartheta_p} = 0.77$) messen. Dadurch bearbeiten die Lernenden auch zunehmend sicherer die Items, sodass die Ratewahrscheinlichkeit abnimmt. Dies erklärt auch die höhere Messgenauigkeit zum dritten Messzeitpunkt. Dennoch liegt die Messgenauigkeit auch zum dritten Messzeitpunkt auf einem für Individualdiagnosen unzureichendem Niveau. Für die im Rahmen der Vorstudie durchgeführten Analysen von Gruppenvergleichen zur Überprüfung der grundsätzlichen Lernwirksamkeit sind diese jedoch als ausreichend anzusehen. Als ursächlich für die geringe Messgenauigkeit ist vor allem eine mangelnde Qualität der eingesetzten Items anzunehmen. Dies belegen die geringen Trennschärfen und der unzureichende Modellfit einiger Items.

Test zum prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren

Auf Itemebene zeigt der Test zum prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren eine gute Modellpassung sowie ausreichend hohe Trennschärfen (vgl. Tabelle 32).

Tabelle 32: Übersicht zur Güte der Tests zum prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren (Vorstudie)

Messzeitpunkt 1	Itemfit	Trennschärfen	Reliabilität
<i>Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren</i>	$0.87 \leq wMNSQ \leq 1.16$	$.32 \leq r_{it} \leq .82$	$\rho_{WLE} = .689$

Auch wenn die Reliabilität unterhalb der geforderten Grenze liegt (vgl. Tabelle 27) kann dennoch von einer ausreichend hohen Testgüte ausgegangen werden, da es sich um ein bereits etabliertes Messinstrument handelt (vgl. Koenen, 2014; Mannel, 2009). Die Itemparameter ($M_{\xi_i} = -0.57, SD_{\xi_i} = 0.75$) streuen im Vergleich zu den Personenparametern ($M_{\theta_p} = -0.02, SD_{\theta_p} = 1.20$) über einen kleineren Bereich, der sich vor allem auf das mittlere Niveau der Personenfähigkeiten bezieht (vgl. Abbildung 21).

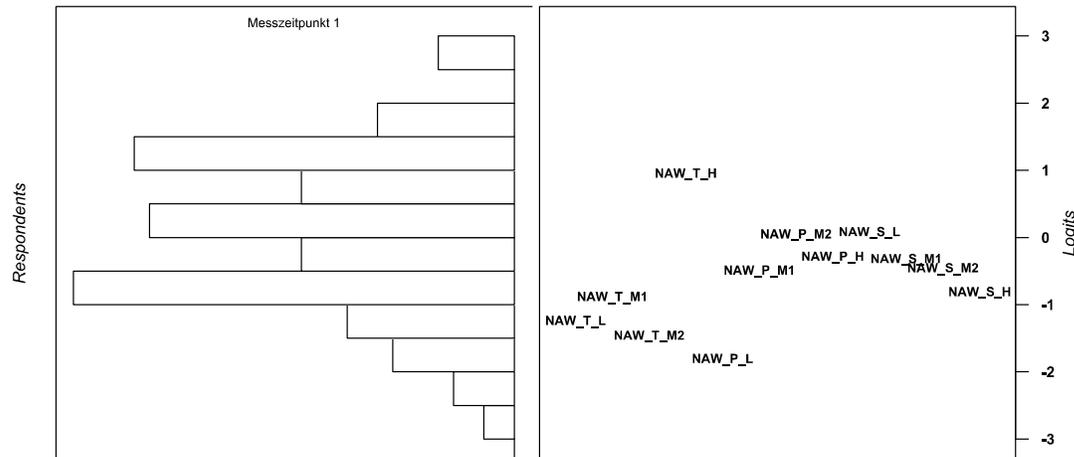


Abbildung 21: WrightMap zum IRT-skalierten Test zum prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren

Trotz der geringen Anzahl an Items können die Schülerinnen und Schüler hinsichtlich ihrer Fähigkeiten im prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren gut differenziert werden.

Fragebogen zum individuellen Fachinteresse

Für die Erfassung des individuellen Fachinteresses wurde ausschließlich auf erprobte und bewährte Items zurückgegriffen. Da es sich hierbei um einen Fragebogen mit mehrstufigen Items handelt, erfolgte die Skalierung mit Hilfe des Partial-Credit-Modells. Die Items zeigen eine gute Modellpassung und die Reliabilität kann

ausgehend der Bewährtheit der Items ebenfalls als gut bezeichnet werden (vgl. Tabelle 33).

Tabelle 33: Übersicht zur Güte der Fragebögen zum individuellen Fachinteresse (Vorstudie)

Messzeitpunkt 1	Itemfit	Trennschärfen	Reliabilität
<i>Individuelles Fachinteresse</i>	$0.79 \leq wMNSQ \leq 1.24$	$0.18 \leq r_{it} \leq 0.38$	$\rho_{WLE} = .791$

Im Gegensatz zu den leistungsbezogenen Merkmalen werden in der WrightMap zum individuellen Fachinteresse nicht die einzelnen Items abgebildet, sondern die Schwellenwerte für die Übergänge zwischen den einzelnen Stufen der Items (vgl. Abbildung 22). Für die einzelnen Items werden üblicherweise mittlere Itemschwierigkeiten als Tendenz zur Zustimmung oder Ablehnung angegeben. Für das im Rahmen der Vorstudie erfasste individuelle Fachinteresse sind Itemparameter ($M_{\xi_i} = -9.32, SD_{\xi_i} = 16.63$) und Personenparameter ($M_{\vartheta_p} = -0.01, SD_{\vartheta_p} = 0.91$) ähnlich verteilt. Insgesamt lässt sich die Varianz des individuellen Fachinteresses gut durch die eingesetzten Items abdecken, sodass sich der Fragebogen zur Erfassung des individuellen Fachinteresses eignet.

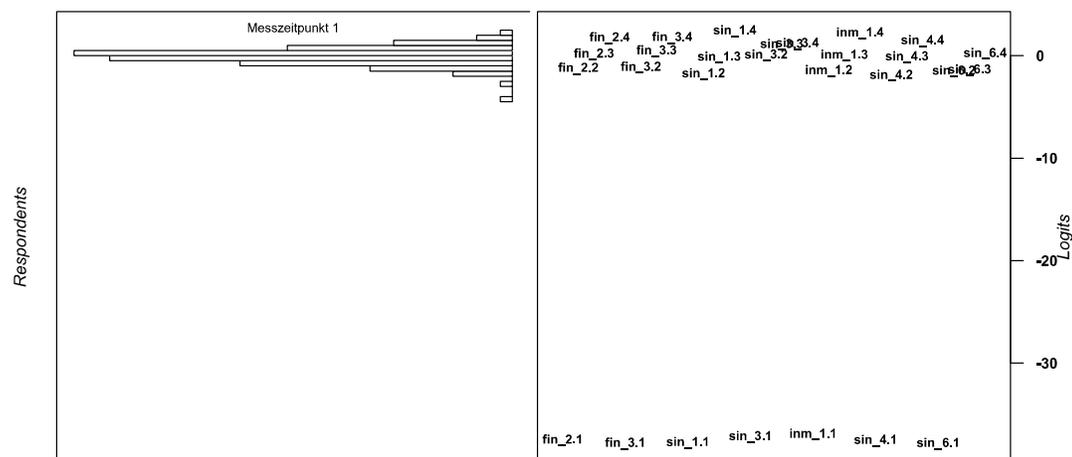


Abbildung 22: WrightMap zum IRT-skalierten Fragebogen zum individuellen Fachinteresse

III.3.2 Evaluation der eingesetzten Lernumgebungen

Zur Evaluation der Qualität der entwickelten Lernumgebungen wird im Wesentlichen die Entwicklung des konzeptbezogenen Fachwissens in den Blick genommen

(vgl. Abbildung 23), da diese mit Blick auf die Zielsetzung der Untersuchung von zentraler Bedeutung ist.

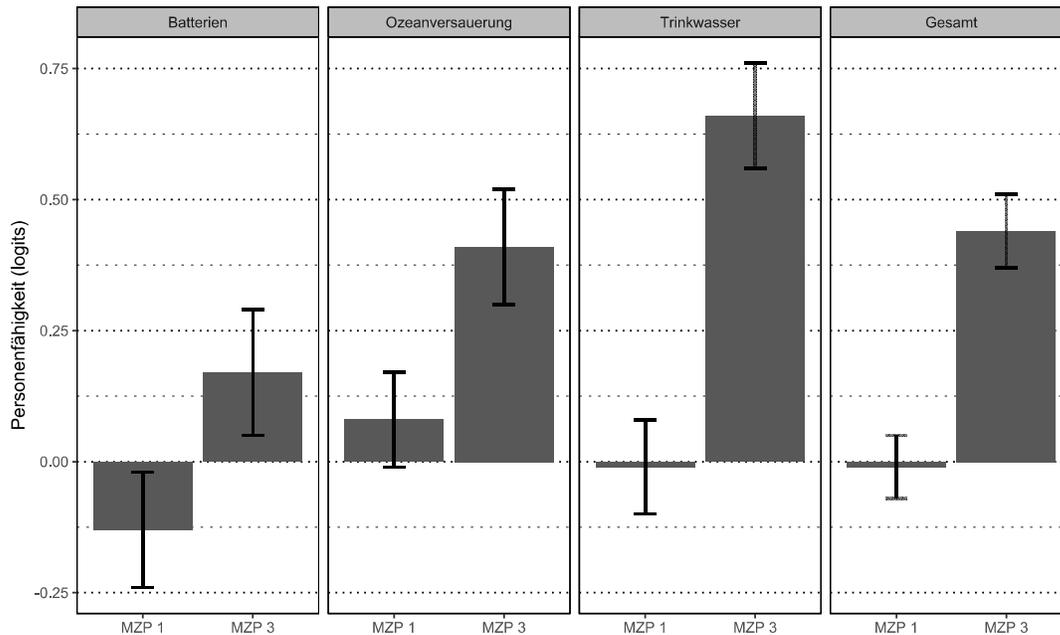


Abbildung 23: Übersicht zur Entwicklung des konzeptbezogenen Fachwissens (Vorstudie)

Deskriptiv zeigt sich eine positive Entwicklung über alle Lernumgebungen. Bei Schülerinnen und Schülern, die an der Lernumgebung zum Thema „Batterien“ gearbeitet haben, fällt der Lernerfolg deutlich geringer aus als für die anderen Lernumgebungen. Die größte Entwicklung lässt sich für das konzeptbezogene Wissen von Schülerinnen und Schülern beobachten, die an der Lernumgebung zum Thema „Trinkwasser“ gearbeitet haben. Diese Entwicklung lässt sich auch statistisch absichern (vgl. Tabelle 34). Dazu wurden mit paarweisen t-Tests die Unterschiede in den Personenfähigkeiten zwischen den Messzeitpunkten 1 und 3 analysiert. Sowohl innerhalb der einzelnen Lernumgebungen als auch über die gesamte Stichprobe hinweg, ist die Veränderung im konzeptbezogenen Wissen signifikant.

Tabelle 34: Weiterführende Analyse der Entwicklung im konzeptbezogenen Fachwissen (Vorstudie)

Lernumgebung zum Thema ...	Messzeitpunkt 1		Messzeitpunkt 3		t-test
	M	SD	M	SD	
„Batterien“	-0.13	0.68	0.17	0.72	$t(36) = -2.737, p = .009$
„Ozeanversauerung“	0.08	0.65	0.41	0.81	$t(53) = -2.839, p = .006$
„Trinkwasser“	-0.01	0.67	0.66	0.77	$t(54) = -7.337, p \leq .001$
Gesamt	-0.01	0.67	0.44	0.79	$t(145) = -7.154, p \leq .001$

Zur lernendenorientierten Evaluation der Lernumgebungen wurden bereits bewährte Items herangezogen (Koenen, 2014). Hier geht es vor allem um die wahrgenommene kognitive Belastung und die Verständlichkeit des Lernmaterials (vgl. Abbildung 24). Hohe Zustimmungswerte stehen hier für schwer verständliches Lernmaterial und eine hohe kognitive Belastung.

Das Lernmaterial zum Thema „Trinkwasser“ wird von den Lernenden als verständlicher eingeschätzt als das Lernmaterial der anderen Lernumgebungen. Besonders bei der Lernumgebung zum Thema „Ozeanversauerung“ geben mehr Lernende an, dass das Material schwer verständlich ist (Zustimmungswert 5 oder höher). Insgesamt wird das Lernmaterial mehrheitlich als verständlich bewertet.

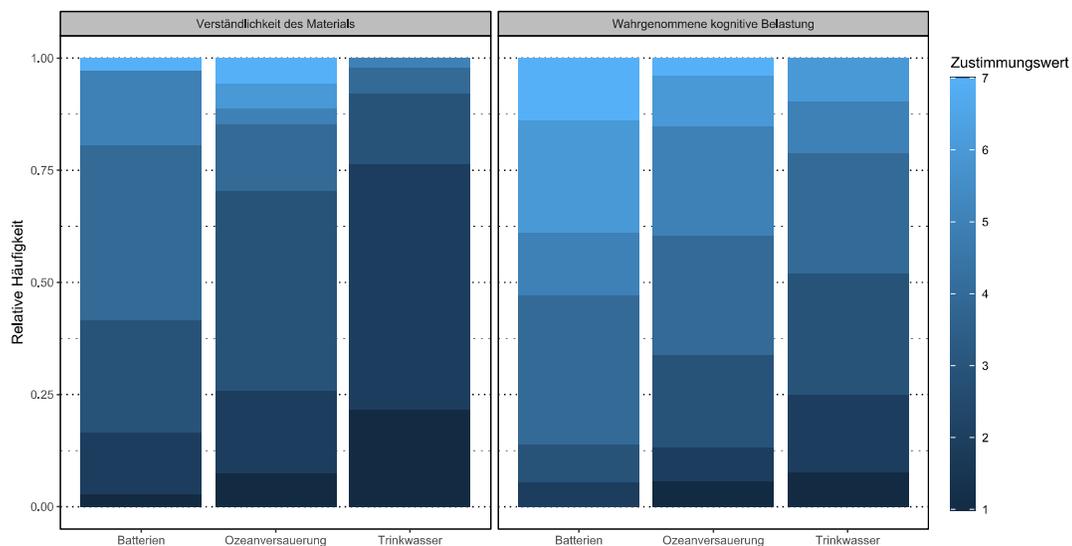


Abbildung 24: Evaluation der Lernumgebungen durch die Lernenden

Bei der Bearbeitung der Lernumgebung zum Thema „Batterien“ geben die Lernenden die höchste kognitive Belastung an. Die Lernumgebung ist damit im Vergleich zu den anderen Lernumgebungen als komplexer zu deuten. Als deutlich weniger komplex wird die Lernumgebung zum Thema „Trinkwasser“ bewertet. Dies steht auch in einem Zusammenhang mit der beobachteten Entwicklung im konzeptbezogenen Wissen, das vor allem für die Lernumgebung zum Thema „Batterien“ geringer ausfällt (vgl. Abbildung 23, S. 96).

Damit stellt die Lernumgebung zum Thema „Batterien“ ungleich höhere Anforderungen an die Lernenden. Hier lassen auch die Prozessdaten darauf schließen, dass den Lernenden das Ziel der Lernumgebung zum Thema „Batterien“ nicht klar ist und zudem verhältnismäßig viele und teilweise komplexe Schwierigkeiten und Fehler auftreten.

III.3.3 Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens zur Lernprozessanalyse

Die Auswertung der videographierten Experimentiersituationen erfolgte in der Vorstudie in zwei aufeinander bezogenen Phasen. Zunächst erfolgte die Modellierung von Lernaktivitäten, die anschließend zur Rekonstruktion auftretender Schwierigkeiten herangezogen wurden. Dazu wurden Analysetechniken der zusammenfassenden Inhaltsanalyse zur Modellierung von Lernaktivitäten und Schwierigkeiten konkretisiert und angewendet. Die Evaluation des entwickelten Verfahrens erfolgte iterativ: Die erarbeiteten Kategorien zur Beschreibung von Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten werden auf Teile des Datenmaterials angewendet und anschließend auf der Basis der Kodierung überarbeitet. Dieses Vorgehen wurde solange wiederholt, bis sich in der diskursiven Validierung zwischen den Kodierenden nur geringe Unstimmigkeiten feststellen lassen und sämtliche Lernprozesse valide durch die erarbeiteten Kategorien zu Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten modelliert werden konnten.

Modellierung von Lerntätigkeiten beim Experimentieren

Die Rekonstruktion individueller Lerntätigkeiten erfolgt durch eine Verzahnung deduktiver und induktiver Kategorienbildung. Hierbei diente die theoretische Rekonstruktion (vgl. Kapitel I.1.2) als Grundlage für die spezifizierte Beschreibung genutzter Lerntätigkeiten beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben genutzt. Als Lerntätigkeiten werden dabei sprachliche und praktische Handlungen verstanden, die für eine strukturierte und zielgerichtete Bewältigung einer Lernanforderung notwendig sind (vgl. Klauer & Leutner, 2012). Für das Experimentieren lassen sich diese konkret durch die einzelnen Schritte der Erkenntnisgewinnung strukturieren (vgl. Emden, 2011; Rönnebeck, Bernholt & Ropohl, 2016).

Die Beschreibung konkreter Lerntätigkeiten beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben erfolgte schrittweise mit zunehmender Abstraktion (vgl. Abbildung 25).

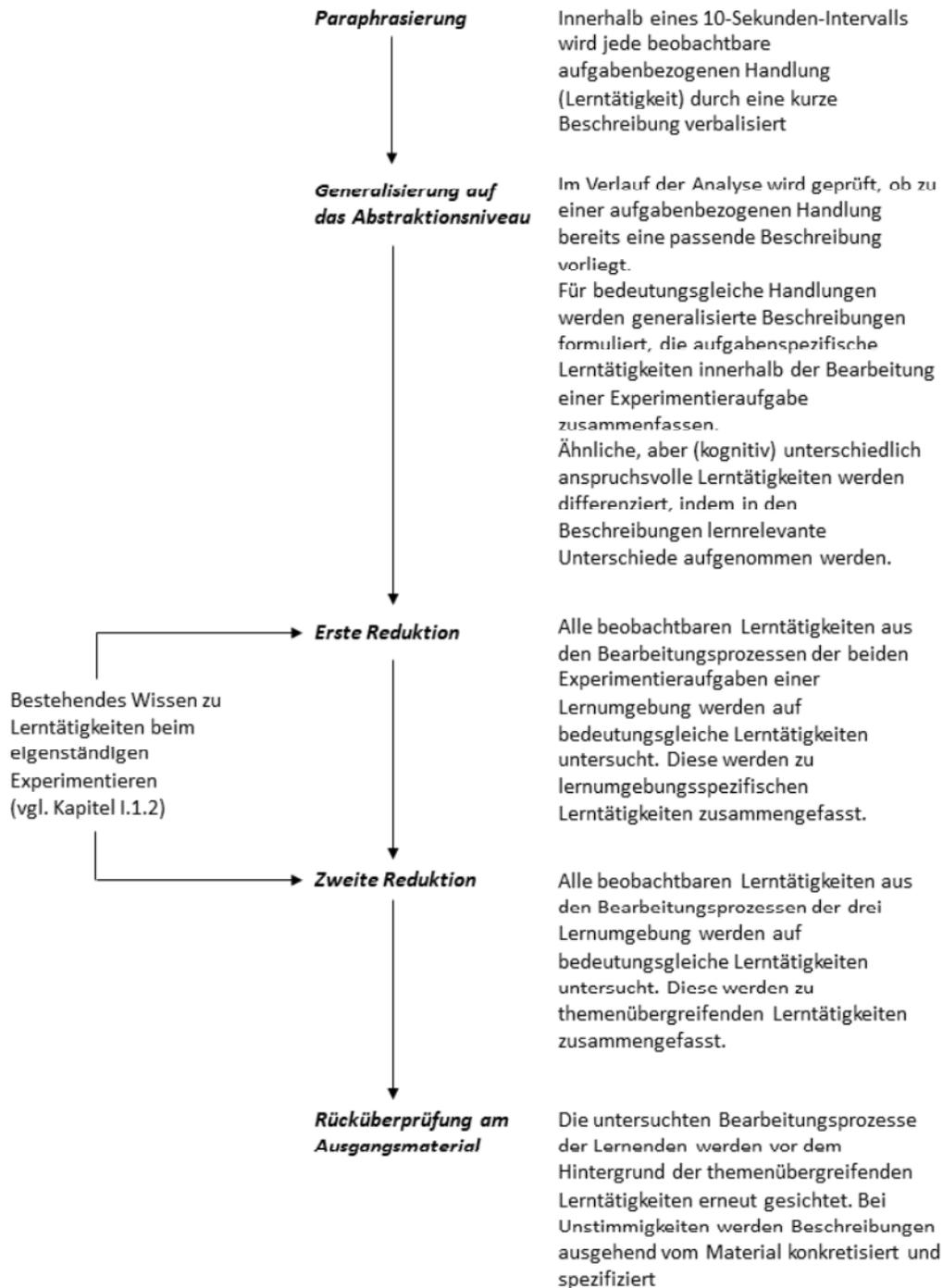


Abbildung 25: Konkretisiertes Ablaufmodell zur zusammenfassenden Inhaltsanalyse der Lerntätigkeiten

In einem ersten Schritt wurden die Prozessdaten zur weiteren Auswertung aufbereitet und hinsichtlich Vollständigkeit und Schäden gesichtet. Die Prozessdaten wurden anschließend zur weiteren Auswertung vorstrukturiert. Mit etwa der

Hälfte der Prozessdaten wurden mit Hilfe der in Kapitel II.5.1 vorgestellten Techniken und Verfahren Lernaktivitäten herausgearbeitet, die sich beim Lernen mit den kooperativen Experimentieraufgaben beobachten lassen. Dazu wurden zunächst Beginn und Ende des Bearbeitungsprozesses der Experimentieraufgabe im Rahmen einer gemeinsamen Sichtung durch alle beteiligten Kodierer diskursiv festgelegt. Anschließend wurde der Bearbeitungsprozess in 10-Sekunden-Intervalle unterteilt (vgl. Abbildung 26).

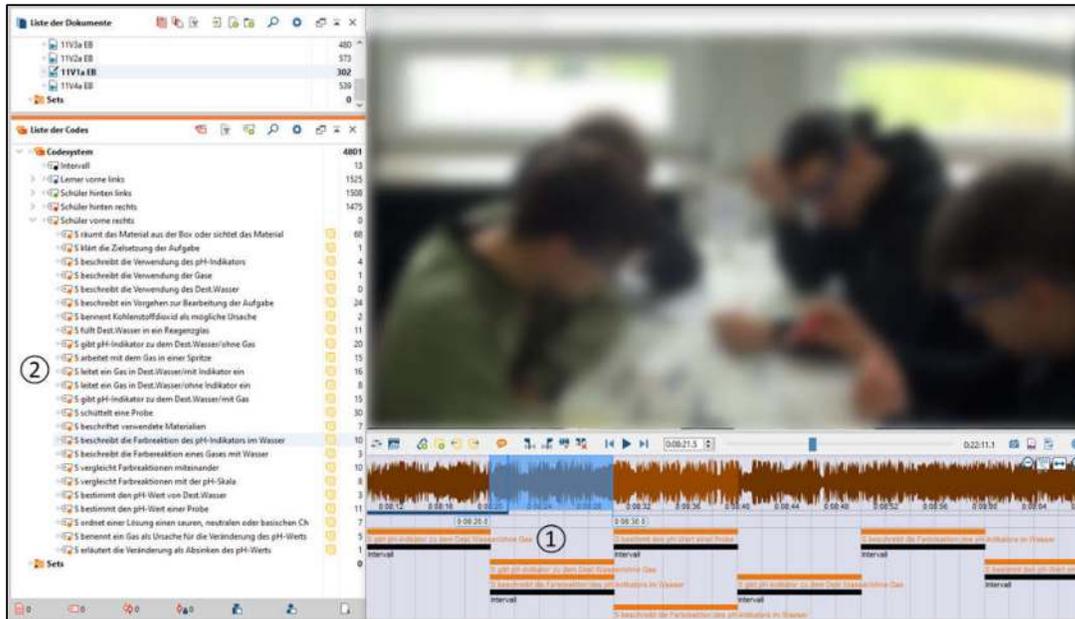


Abbildung 26: Überblick zur Kodierung von Lerntätigkeiten in MAXQDA 2018 im Rahmen der Untersuchung

Zur Modellierung der individuell genutzten Lerntätigkeiten wurde im Sinne eines offenen Kodierens für jede genutzte Lerntätigkeit innerhalb eines 10-Sekunden-Intervalls eine Kodierkategorie erstellt (vgl. 1 in Abbildung 26). Für jeden Lernenden wurde ein eigener Kodierdurchgang durchgeführt. Liegt für eine beobachtbare Lerntätigkeit bereits eine Kodierkategorie vor (vgl. 2 in Abbildung 26), wurde diese zur Kodierung herangezogen. Dieses Vorgehen wurde für jede einzelne Experimentieraufgabe spezifisch wiederholt. Insgesamt lassen sich dadurch für die sechs untersuchten Experimentieraufgaben aus den drei Inhaltsbereichen spezifische Lerntätigkeiten beschreiben (vgl. Tabelle 35). Die Anzahl aufgabenspezifischer Lerntätigkeiten ist über die Experimentieraufgaben und Inhaltsbereiche vergleichbar groß. Für die zweiten Experimentieraufgaben einer Lernumgebung lassen sich im Vergleich zu den ersten Experimentieraufgaben aufgrund der höheren Komplexität mehr Lerntätigkeiten beobachten. Die vergleichsweise hohe Anzahl an

beobachtbaren Lerntätigkeiten steht an dieser Stelle in einem engen Zusammenhang mit der Heterogenität der Stichprobe.

Tabelle 35: Spezifische Anzahl beobachtbarer Lerntätigkeiten bei der Bearbeitung der eingesetzten Lernumgebungen

Direkt beobachtbare Lerntätigkeiten ...	Lernumgebung zum Thema ...		
	Batterien	Ozeanversauerung	Trinkwasser
bei der Bearbeitung der ersten Experimentieraufgabe	52	48	54
bei der Bearbeitung der zweiten Experimentieraufgabe	56	65	66
für die gesamte Lernumgebung	108	113	120

In einem nächsten Schritt wurden alle Kodierkategorien zu Lerntätigkeiten gesichtet und ausgehend von bereits vorliegenden Erkenntnissen zur Prozessstrukturierung beim Experimentieren zu übergeordneten Aktivitätsbereichen zusammengelegt. Die beobachtbaren Lerntätigkeiten lassen sich dabei grundsätzlich den sechs Tätigkeitsbereichen „planungsbezogene Aktivitäten“, „durchführungsbezogene Aktivitäten“, „beobachtungsbezogene Aktivitäten“, „auswertungsbezogene Aktivitäten“, „lernmaterialbezogene Aktivitäten“ sowie „übergeordnete Aktivitäten“ zuordnen.

Innerhalb jedes Aktivitätsbereichs wurde abschließend der vorherige Schritt des Zusammenlegens wiederholt, indem aufgabenspezifische Lerntätigkeiten zu passenden themenübergreifenden Lerntätigkeiten zusammengelegt wurden. Dabei wurde mit Blick auf die Heterogenität der Stichprobe und einer möglichst differenzierten Modellierung des Experimentierprozesses besonders darauf geachtet, innerhalb jedes Aktivitätsbereichs themenübergreifende Lerntätigkeiten mit entwicklungsorientierter Abstufung im Sinne einer Kompetenzniveaumodellierung vorzunehmen. Insgesamt lässt sich der Bearbeitungsprozess einer kooperativen Experimentieraufgabe durch sechs Aktivitätsbereiche mit 21 themenübergreifenden Lerntätigkeiten darstellen (vgl. Tabelle 36).

Tabelle 36: Kategoriensystem zur systematischen Beschreibung von Lernaktivitäten beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben

Schülerin/Schüler plant und bespricht ein Vorgehen (Planung), indem ...	
Lerntätigkeit	Konkretisierung
... das Material gesichtet wird.	Das Material wird aus der Box geräumt, näher betrachtet oder (strukturierend) zusammengelegt.

III Vorstudie

Tabelle 36 (Fortsetzung): Kategoriensystem zur systematischen Beschreibung von Lernaktivitäten beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben

Schülerin/Schüler plant und bespricht ein Vorgehen (Planung), indem ...	
Lerntätigkeit	Konkretisierung
... die Zielsetzung der Experimentieraufgabe besprochen oder diskutiert wird.	<i>Die Aufgabenstellung einer Experimentieraufgabe wird explizit besprochen und hinsichtlich ihrer Zielsetzung diskutiert.</i>
... der Nutzen des Materials beschrieben wird.	<i>Einzelne Gegenstände werden isoliert betrachtet und hinsichtlich ihres Nutzens zur Bearbeitung einer Experimentieraufgabe beschrieben.</i>
... ein Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabe beschrieben wird.	<i>Es wird eine Abfolge zusammenhängender Teilschritte beschrieben, die sich auf die Bearbeitung der Aufgabe beziehen.</i>
... eine Vermutung formuliert wird.	<i>Es wird eine Vermutung über den Ausgang eines Experimentieransatzes oder über die Ausprägung eines fachlichen Zusammenhangs formuliert.</i>
Schülerin/Schüler führt eine experimentelle Handlung aus (Durchführung), indem ...	
Lerntätigkeit	Konkretisierung
... eine einfache experimentelle Handlung zur Vor- oder Nachbereitung eines Ansatzes ausgeführt wird.	<i>Es werden grundlegende und experimental-praktisch weniger anspruchsvolle Tätigkeiten ausgeführt, die für den weiteren Bearbeitungsprozess notwendig sind, aber keine direkten, hinreichend aufgabenbezogenen Beobachtungen liefern.</i>
... eine experimentelle, aufgabenbezogene Handlung ausgeführt wird.	<i>Es werden experimental-praktische Tätigkeiten im Rahmen eines experimentellen Ansatzes ausgeführt, der zur Bearbeitung der Experimentieraufgabe notwendige Beobachtungen ermöglichen.</i>
Schülerin/Schüler macht oder äußert Beobachtungen (Beobachtung), indem ...	
Lerntätigkeit	Konkretisierung
... aufgabenrelevante Variablen wahrgenommen werden.	<i>Es werden Ansätze, Prozesse, Veränderungen oder Messgeräte betrachtet, ohne mögliche Beobachtungen zu verbalisieren.</i>
... Ausprägungen aufgabenrelevanter Beobachtungen oder Messwerte benannt oder beschrieben werden.	<i>Es werden Beobachtungen (u.a. Farbreaktionen, sichtbare Reaktionsverläufe) oder Messungen (u.a. Messwerte von Messgeräten) angestellt und verbalisiert, die zur Bearbeitung der Aufgabenstellung herangezogen werden können.</i>
... Beobachtungen aufgabenbezogen miteinander in Beziehung gesetzt werden.	<i>Es werden Beobachtungen oder Messungen angestellt und kommuniziert, bei denen Bezüge zu anderen Variablen oder anderen Beobachtungen hergestellt werden.</i>
Schülerin/Schüler wertet Daten aus (Auswertung), indem ...	
Lerntätigkeit	Konkretisierung
... Zusammenhänge aus den Beobachtungen abgeleitet werden.	<i>Es werden aus den Beobachtungen Zusammenhänge abgeleitet, die für die Bearbeitung der Aufgabenstellung relevant aber nicht unmittelbar zur Beantwortung herangezogen werden können.</i>

Tabelle 36 (Fortsetzung): Kategoriensystem zur systematischen Beschreibung von Lernaktivitäten beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben

Schülerin/Schüler wertet Daten aus (Auswertung), indem ...	
Lerntätigkeiten	Konkretisierung
... aufgabenbezogene Schlussfolgerungen beschrieben werden.	<i>Es werden aus den Beobachtungen Schlüsse gezogen, die einen direkten Bezug zur Aufgabenstellung besitzen. Diese werden jedoch nicht weiter erläutert.</i>
... aufgabenbezogene Schlussfolgerungen erläutert werden.	<i>Es werden gezogene Schlussfolgerungen mit Hilfe relevanter Konzepte begründet oder auf einer allgemeineren Ebene (Abstraktion) betrachtet.</i>
... Ergebnisse weiterführend diskutiert werden.	<i>Es werden Ursachen für unerwartete oder ausbleibende Ergebnisse diskutiert oder Zusammenhänge hergestellt, die über die Aufgabenstellung hinausgehen.</i>
Schülerin/Schüler arbeitet mit dem Lernmaterial (Lernmaterial), indem ...	
Lerntätigkeiten	Konkretisierung
... das Lernmaterial betrachtet wird.	<i>Das Lernmaterial wird gesichtet oder individuell betrachtet ohne mit anderen Lernenden zu kommunizieren.</i>
... Informationen des Lernmaterials wiedergegeben werden.	<i>Das Lernmaterial wird laut vorgelesen oder es werden einzelne Informationen wiedergegeben. Eine Anwendung der Informationen erfolgt jedoch nicht.</i>
... Informationen des Lernmaterials angewendet werden.	<i>Es werden Informationen aus dem Lernmaterial selektiert und auf die Planung, Durchführung, Beobachtung, Auswertung oder Dokumentation angewendet. Die Anwendung geht dabei über das reine Wiedergeben von Informationen hinaus.</i>
Schülerin/Schüler führt übergeordnete Tätigkeiten aus, indem ...	
Lerntätigkeiten	Konkretisierung
... nicht aufgabenbezogen gearbeitet wird.	<i>Sämtliche Tätigkeiten und Aktivitäten, die keinen direkten Aufgabenbezug haben, werden als nicht aufgabenbezogenes Arbeiten gewertet.</i>
... eine konzeptbezogene Frage gestellt wird.	<i>Es wird eine konzeptbezogene Frage gestellt (u.a. zu Eigenschaften bestimmter Stoffe oder zu fachlichen Zusammenhängen).</i>
... eine prozessbezogene Frage gestellt wird.	<i>Es wird eine prozessbezogene Frage gestellt (u.a. zur Strukturierung des Experimentierprozesses).</i>
... eine organisatorische Aussage geäußert wird.	<i>Es wird eine Aussage geäußert (u.a. zum Ablauf der Stunde).</i>

Neben Lerntätigkeiten, die in einem unmittelbaren Bezug zum Prozess der Erkenntnisgewinnung stehen und bereits hinreichend in der empirischen Forschung herausgearbeitet worden sind, konnten auch Lerntätigkeiten beobachtet werden, die

spezifisch für die Bearbeitung kooperativer Experimentieraufgaben sind wie die Auseinandersetzung mit dem Nutzen des zur Verfügung stehenden Materials.

Erfassung auftretender Schwierigkeiten während der Experimentierphase

Zur Erfassung auftretender Schwierigkeiten wurden wie bei den Lerntätigkeiten Analysetechniken der zusammenfassenden Inhaltsanalyse angewendet (Mayring, 2015). In Abbildung 27 ist der strukturierte Ablauf der durchgeführten Analyse-schritte dargestellt.

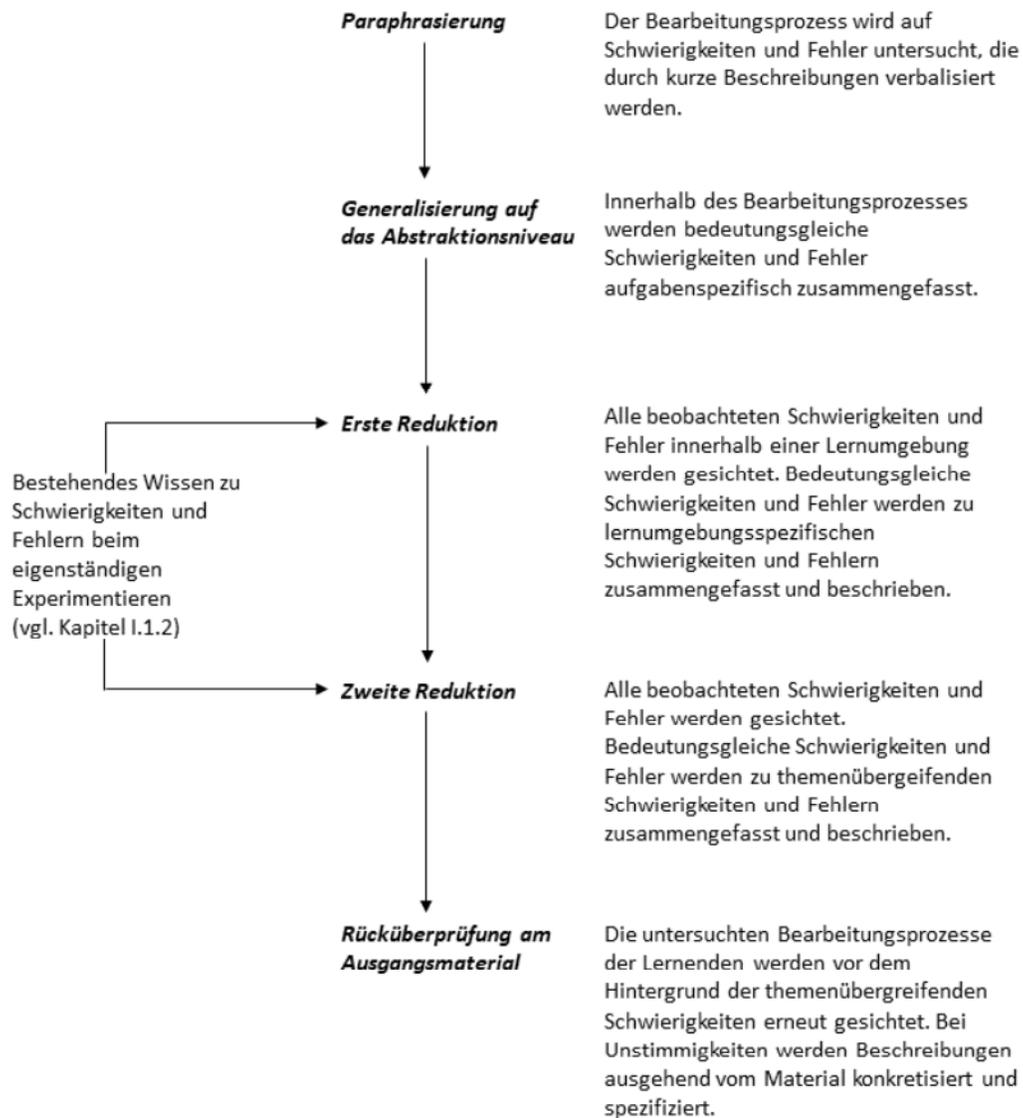


Abbildung 27: Konkretisiertes Ablaufmodell zur zusammenfassenden Inhaltsanalyse der Schwierigkeiten

Aufbauend auf der vorangegangenen Modellierung genutzter individueller Lerntätigkeiten, erfolgte in einem zweiten Durchgang des offenen Kodierens die Erfassung von Schwierigkeiten, die während des Bearbeitungsprozesses der Experimentieraufgaben direkt beobachtbar sind (vgl. Abbildung 28). Dazu wurde analog zur Erfassung individueller Lerntätigkeiten für jeden einzelnen Lernenden in den festgelegten 10-Sekunden-Intervallen für jede direkt beobachtbare Schwierigkeit eine Kodierkategorie erstellt (vgl. 3 in Abbildung 28).

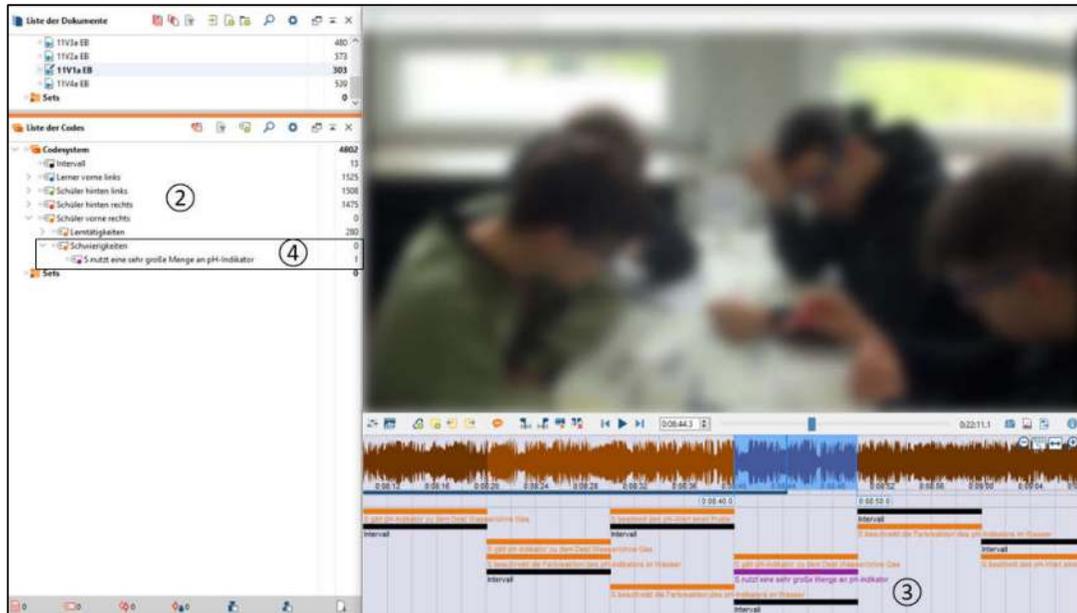


Abbildung 28: Überblick zur Kodierung von Schwierigkeiten in MAXQDA 2018 im Rahmen der Untersuchung

Bei wiederholtem Auftreten der gleichen Schwierigkeit wurde entsprechend mit der vorhandenen Kodierkategorie (vgl. 4 in Abbildung 28) kodiert. Insgesamt konnten bei der Bearbeitung 122 aufgabenspezifische Schwierigkeiten und Fehler herausgearbeitet werden (vgl. Tabelle 37). Die absolute Anzahl unterschiedlicher Schwierigkeiten und Fehler ist in den unterschiedlichen Lernumgebungen ähnlich groß. Die meisten Schwierigkeiten und Fehler treten bei der Bearbeitung der Lernumgebung zum Thema Ozeanversauerung auf. Die wenigsten Probleme haben die Lernenden bei der Bearbeitung der Lernumgebung zum Thema Batterien.

Tabelle 37: Spezifische Anzahl beobachtbarer, themenspezifischer Schwierigkeiten und Fehler bei der Bearbeitung der eingesetzten Lernumgebungen

Direkt beobachtbare Schwierigkeiten und Fehler ...	Lernumgebung zum Thema ...		
	Batterien	Ozeanversauerung	Trinkwasser
bei der Bearbeitung der ersten Experimentieraufgabe	18	23	20
bei der Bearbeitung der zweiten Experimentieraufgabe	19	22	20
für die gesamte Lernumgebung	37	45	40

In einem weiterführenden Schritt wurden diese im Rahmen einer strukturierenden Inhaltsanalyse unter Einbeziehung vorliegender Erkenntnisse zu Schwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren (vgl. Abschnitt I.1.2) hinsichtlich übergeordneter Problembereiche zugeordnet (deduktive Kategorienbildung). Insgesamt konnten die spezifischen Schwierigkeiten und Fehler 12 übergeordneten und themenübergreifenden Problembereichen zugeordnet werden (vgl. Tabelle 38).

Tabelle 38: Kategoriensystem zur systematischen Beschreibung von Schwierigkeiten beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben

Themenübergreifende Schwierigkeiten		
	Schwierigkeitsbereich	Konkretisierung
S1	Schwierigkeiten in Bezug auf die Zielsetzung der Aufgabenstellung	Die Lernenden äußern Unsicherheit oder Unwissenheit in Bezug auf das Ziel der Experimentieraufgabe, mit dem zur Verfügung stehenden Experimentiermaterial oder sprechen über eine von der eigentlichen Aufgabe abweichenden Zielsetzung.
S2	Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	Die Lernenden arbeiten ungenau oder wenden fehleranfällige sowie ungeeignete experimentelle Handlungen an.
S3	Unsystematische Untersuchungen	Die Lernenden gehen bei der Bearbeitung der Aufgabe unsystematisch vor, was sich in einer planlosen Durchführung, einem willkürlichen Untersuchungsdesign oder einer fehlenden Variablenkontrolle ausdrückt.
S4	Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	Die Lernenden untersuchen mit der Aufgabenstellung in Bezug stehende Zusammenhänge, führen diese aber unvollständig durch, indem zentrale Elemente ausgelassen werden oder untersuchen Zusammenhänge, die keinen direkten Bezug zur Aufgabe aufweisen.
S5	Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	Die Lernenden gehen unsicher oder unwissend mit dem Experimentiermaterial um oder nutzen dieses nicht unmittelbar zielführend.

Tabelle 38 (Fortsetzung): Kategoriensystem zur systematischen Beschreibung von Schwierigkeiten beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben

Themenübergreifende Schwierigkeiten		
	Schwierigkeitsbereich	Konkretisierung
S6	Ungünstige Versuchsbedingungen	Die Lernenden arbeiten unter ungünstigen Bedingungen, sodass weitere Aktivitäten unter Umständen zum Problem werden können.
S7	Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	Die Lernenden äußern in Bezug auf die Aufgabenstellung inhaltlich falsche Zusammenhänge oder Konzepte oder führen inhaltlich falsche Handlungen oder Entscheidungen aus.
S8	Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	Die Lernenden machen Fehler bei der Handhabung des Experimentiermaterials oder führen experimentelle Handlungen fehlerhaft aus.
S9	Fehler beim Schlussfolgern	Die Lernenden ziehen falsche oder keine Schlussfolgerungen aus vorliegenden Beobachtungen.
S10	Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	Die Lernenden untersuchen im Rahmen der Aufgabenbearbeitung zielführende Zusammenhänge nicht oder es fehlen wichtige Elemente, die für den Zusammenhang relevant sind.
S11	Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	Die Lösung der Aufgabe enthält Fehler, die sich im Wesentlichen auf unpassende Schlussfolgerungen der Experimentierphase beziehen. In Abgrenzung zu inhaltlichen und verständnisbezogenen Fehlern bezieht sich eine fehlerhafte Lösung der Aufgabe ausschließlich auf eine explizit geäußerte Lösung der Aufgabe.
S12	unvollständige Lösung zur Aufgabe	In der Lösung zur Aufgabe fehlen wesentliche, für eine erfolgreiche Bearbeitung der Aufgabe notwendige, Teilaspekte.

Für die Qualität der Zuordnung aufgabenspezifischer Schwierigkeiten zu übergeordneten, themenübergreifenden Schwierigkeiten wurde aufgrund der im Vergleich zur Modellierung von Lerntätigkeiten eher geringen Forschungserkenntnisse eine Überprüfung der Passung durch doppelte Kodierungen vorgenommen. Dazu wurden unterschiedlichen Kodierern die aufgabenspezifischen Schwierigkeiten vorgelegt, die anschließend den übergeordneten Schwierigkeiten zugeordnet werden sollten. Für die Zuordnung weist eine hohe Übereinstimmung zwischen den Kodierern ($\kappa = 0,876$) auf eine gute Passung hin.

Einzelne Problembereiche stehen zueinander in unmittelbarem Bezug und lassen auf eine Differenzierung von Schwierigkeiten und Fehlern deuten (z. B. im Umgang mit dem Experimentiermaterial). Darüber hinaus konnten nicht alle aus der empirischen Forschung bereits bekannten Schwierigkeiten und Fehler gefunden werden.

Anwendung und Evaluation des Verfahrens

In einem nächsten Schritt wurden die Kategoriensysteme in ein Kodiermanual zur Auswertung von Lernprozessen beim eigenständigen Arbeiten mit kooperativen Experimentieraufgaben überführt. Das Kodiermanual enthält neben den Kategoriensystemen zu Lernaktivitäten beim Experimentieren und Schwierigkeiten während der Experimentierphase auch spezifische Indikatoren und Ankerbeispiele für die einzelnen Kategorien. Zudem enthält das Kodiermanual Hinweise und Anmerkungen zum methodischen Vorgehen sowie der Struktur des Analyseprozesses. Das Kodiermanual zu dieser Untersuchung ist im Anhang zu finden.

Mit Hilfe des Kodiermanuals wurden zwei weitere Kodierer zur Auswertung von Prozessdaten zum kooperativen Experimentieren geschult. Bei den zwei Kodierern handelt es sich um angehende Chemielehrkräfte in der ersten Phase der Lehrerbildung (4. bzw. 6. Fachsemester), verfügen über unterschiedliche Professionen (Lehramt an Haupt-, Real- und Gesamtschulen sowie Lehramt an Gymnasien und Gesamtschulen) und besitzen bereits Praxiserfahrungen. Das Kodiermanual wurde zu Beginn mit den Kodierern vollständig besprochen und die Anwendung an ausgewählten Prozessdaten erprobt. Dabei wurden jene Prozessdaten verwendet, die bereits zur Entwicklung des Auswertungsverfahrens herangezogen worden sind. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass die Einführung in das Arbeiten mit dem Kodiermanual eindeutig und nachvollziehbar abläuft. Die Ergebnisse der Erprobung im Rahmen der Kodiererschulung wurden gemeinsam besprochen und mit Blick auf das Kodiermanual reflektiert.

Die Qualitätsprüfung fand im Rahmen einer daran anschließenden ersten Kodierung statt. Dabei wurden von den drei Kodierern Prozessdaten unabhängig voneinander kodiert, die nicht Gegenstand der Entwicklung der Kategoriensysteme gewesen sind. Die Prozessdaten wurden im Rahmen der Kodierung systematisch aufgeteilt (vgl. Tabelle 39).

Tabelle 39: Kodierschema zur Evaluation des Auswertungsverfahrens

	Prozessdaten zum Thema ...		
	Batterien	Ozeanversauerung	Trinkwasser
Kodierer 1	X	X	
Kodierer 2		X	X
Kodierer 3	X		X

Lernaktivitäten und Schwierigkeiten wurden in zwei zeitlich getrennten Analyse-durchgängen kodiert. Die Kodierung beider Auswertungsaspekte erfolgte timeba-siert in 10-Sekunden-Intervallen mit Blick auf die Individualebene: Aktivitäten und Schwierigkeiten wurden nicht für eine Kleingruppe, sondern für jeden einzelnen Lernenden kodiert. Gegenstand der Kodierung waren die aufgabenspezifischen Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten. Dieses Vorgehen ist im Zusammenhang mit dem Forschungsgegenstand bereits erprobt worden (vgl. u.a. Kechel, 2016). Für jede Kleingruppe wurde zur besseren Übersichtlichkeit eine eigene Auswertungs-datei in MAXQDA 2018 angelegt. Als statistisches Übereinstimmungsmaß wurde entsprechend des Kodierschemas (vgl. Tabelle 39) Cohens Kappa herangezogen. Hinsichtlich Objektivität und Reliabilität lässt sich für das Auswertungsverfahren festhalten, dass eine Modellierung von Lernaktivitäten im Mittel angemessen vor-genommen werden kann, in einigen Kleingruppen aber teilweise geringe Beobach-terübereinstimmungen vorliegen (vgl. Tabelle 40). Es muss daher mit Blick auf die Heterogenität der Stichprobe davon ausgegangen werden, dass Lerntätigkeiten nicht für alle Kleingruppen hinreichend genau beschrieben werden können.

Tabelle 40: Übersicht der Güte eingesetzter Verfahren zur Lernprozessdiagnostik in der Vorstudie

Auswertungsaspekt	Messzeitpunkt 2	
Lerntätigkeiten beim Experimentieren	$0,43 \leq \kappa \leq 0,77$	$\bar{\kappa} = 0,64$
Schwierigkeiten während der Experimentierphase	$-0,29 \leq \kappa \leq 0,52$	$\bar{\kappa} = 0,31$

Die Auswertung der Schwierigkeiten muss kritisch gesehen werden, weil es für ei-nen großen Teil der Kleingruppen nicht hinreichend genau gelingt, Schwierigkeiten eindeutig zu kodieren (vgl. Tabelle 40). Dies belegen sowohl die niedrige mittlere Beobachterübereinstimmung als auch die konkreten Beobachterübereinstimmun-gen für einzelne Kleingruppen.

Statt einer Beobachterübereinstimmung für das gesamte Datenmaterial wurden Beobachterübereinstimmungen für jede einzelne Kleingruppe bestimmt. Auf eine Darstellung der Intercoder-Matrizen wird an dieser Stelle auf Grund der hohen Zahl an Kategorien und Codings verzichtet. Diese wurden aber der kommunikativen Va-lidierung des Auswertungsverfahrens zugrunde gelegt und für jede einzelne Klein-gruppe spezifisch betrachtet.

III.4 Zusammenfassende Diskussion der Vorstudie

Das Ziel der Vorstudie bestand in der Eignungsprüfung unterschiedlicher Tests zu individuellen Lernvoraussetzungen sowie der Entwicklung und Evaluation eines Messverfahrens zur Erfassung von Prozessmerkmalen beim eigenständigen Experimentieren unter besonderer Berücksichtigung heterogener Lerngruppen im Chemieunterricht.

III.4.1 Zentrale Erkenntnisse der Vorstudie

Mit Blick auf die Zielsetzung der Vorstudie lässt sich festhalten, dass der Einsatz bereits evaluierter Leistungstests zu den kognitiven Grundfähigkeiten und dem prozessbezogenen Wissen eine zufriedenstellende Grundlage für die Erfassung eben dieser Merkmale darstellt. Gleichzeitig konnten aus dem Lernprozess relevante Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten inhaltsanalytisch herausgearbeitet werden, die in ihren Beschreibungen und Abstufungen besonders die Heterogenität der Stichprobe abbilden können. Anders als in bisherigen Studien wurden für die unterschiedlichen Phasen des Experimentierens Lerntätigkeiten unterschiedlicher Komplexität beschrieben. Inhaltlich lassen sich so die Lerntätigkeiten von Schülerinnen und Schülern differenzierter beschreiben: Im Rahmen der Erkenntnisgewinnung und dem damit verbundenen Konzeptlernen ist es entscheidend, ob beobachtungsbezogene Zusammenhänge abgeleitet werden oder ob aufgabenbezogene Schlussfolgerungen erläutert werden. Insgesamt kann der Experimentierprozess gut durch sechs übergeordnete Aktivitätsbereiche (Schritte der Erkenntnisgewinnung) strukturiert werden, die jeweils durch mehrere unterschiedlich komplexe Lerntätigkeiten beschrieben werden können. Schülerinnen und Schüler können so in ihrem Lernprozess nicht nur durch die einzelnen Phasen beschrieben werden, sondern differenziert mit Hilfe von 21 unterschiedlichen Lernaktivitäten. Die Trennschärfe der einzelnen Lerntätigkeiten innerhalb eines übergeordneten Aktivitätsbereichs ist inhaltlich begründet, lässt sich aber auch durch bereits vorliegende Befunde zur Kompetenzmodellierung (vgl. Walpuski et al., 2010) absichern. In den einzelnen Aktivitätsbereichen unterscheiden sich die verschiedenen Lerntätigkeiten durch die dabei genutzten kognitiven Prozesse, die sich jeweils in ihrer Komplexität unterscheiden (Walpuski et al., 2010). Dies findet sich beispielsweise auch in den Lerntätigkeiten zur Auswertung wieder, indem zwischen dem Beschreiben von Schlussfolgerungen (Selegieren), dem Erläutern von Schlussfolgerungen

(Organisieren) und dem weiterführenden Diskutieren von Ergebnissen (Integrieren) unterschieden wird.

Das im Rahmen der Vorstudie entwickelte Verfahren zur differenzierten Modellierung von Lerntätigkeiten ermöglicht es, Schülerinnen und Schüler individueller in den Blick zu nehmen und Unterschiede zwischen einzelnen Schülerinnen und Schülern aufzulösen. Dies ist eine notwendige Voraussetzung für Zusammenhangsanalysen zwischen Leistungs- und Prozessmerkmalen.

In einem engen Bezug zu den genutzten Lerntätigkeiten konnten für die einzelnen Experimentieraufgaben eine Vielzahl von Schwierigkeiten identifiziert werden, die mit einer hohen Genauigkeit 12 übergreifenden Schwierigkeitsbereichen zugeordnet werden können. Durch die Strukturierung themenspezifischer Schwierigkeiten in übergreifende Schwierigkeitsbereiche ist es möglich, Analysen von Lernschwierigkeiten unabhängig vom Thema vorzunehmen und vergleichend zu diskutieren. Die im Rahmen der Vorstudie verwendete Erfassung in Intervallen hat sich insofern als problematisch herausgestellt, als dass auftretende Schwierigkeiten nicht für alle Schülerinnen und Schüler mit gleichermaßen hoher Messgenauigkeit erfasst werden können. Im Rahmen weiterführender Analysen zum individuellen Auftreten von Schwierigkeiten stellt dies insofern ein Problem dar, als dass hierfür Individualwerte mit hoher Messgenauigkeit notwendig sind.

Als ebenfalls problematisch hinsichtlich Messqualität haben sich in der Vorstudie die entwickelten Leistungstests zum konzeptbezogenen Fachwissen gezeigt. Für die Kompetenzmessung mit Leistungstests lässt sich dies auf Items zurückführen, mit denen sich Personen nicht systematisch in Bezug auf das zu erfassende Merkmal differenzieren lassen (Neumann, 2014). Solche Items weisen in der Regel eine schlechte Trennschärfe sowie einen schlechten Modellfit auf (Neumann, 2014). Dies zeigt sich auch in den Ergebnissen der Vorstudie. Hier weist ein Teil der Items einen schlechten Modellfit sowie niedrige Trennschärfen auf.

III.4.2 Konsequenzen für die Hauptstudie

Ausgehend von den zentralen Erkenntnissen der Vorstudie ergeben sich zuweilen nicht gelöste Herausforderungen und Probleme. Diese beziehen sich vor allem auf die Gestaltung der Lernumgebungen sowie methodisch auf die Messverfahren zur Lernprozess- und Leistungsdiagnostik.

Die Optimierung der Lernumgebungen umfasst im Wesentlichen die Überarbeitung der Aufgabenstellungen. In diesem Zusammenhang erfolgte auch die Anpassung der Gestaltung der Lernumgebungen durch das eingesetzte Informations- und

Arbeitsmaterial. Eine Anpassung des Informationsmaterials erfolgte in der vorliegenden Untersuchung im Wesentlichen über die Umgestaltung oder Neugestaltung des Kartenmaterials, das den Schülerinnen und Schülern während der Experimentierphase zur Verfügung steht. Dabei wurde darauf geachtet, dass das Kartenmaterial übersichtlich gestaltet ist, eine angemessene kognitive Strukturierung notwendiger Informationen bietet und bewusst Anknüpfungspunkte und Anregungen zur Auseinandersetzung mit dem Vorwissen bietet. Die Auswahl des zur Verfügung stehenden Arbeitsmaterials wurde auf das Wesentliche beschränkt.

Die Bestimmung der Beobachterübereinstimmungen für die Kodierung von Lern-tätigkeiten und Schwierigkeiten liefert zwei zentrale Erkenntnisse: Die Übereinstimmung in der Beobachtung unterschiedlicher Kodierer fällt über verschiedene Lernendengruppen unterschiedlich hoch aus und deutet für einzelne Lernende auf eine schlechte Erfassung von individuellen Lerntätigkeiten hin. Darüber hinaus erweist sich vor allem eine reliable Erfassung von auftretenden Schwierigkeiten und Fehlern als problematisch. Ausgehend von diesen Erkenntnissen wurden im Rahmen einer diskursiven Validierung (vgl. Mayring, 2015) die einzelnen Kodierprozesse unter den Kodierern auf der Grundlage beobachteter Übereinstimmungen und Nichtübereinstimmungen reflektiert.

Für die Lerntätigkeiten konnten hier vor allem unpräzise Beschreibungen und wenig eindeutige Definitionen als Ursachen für Nichtübereinstimmungen identifiziert werden. Diese wurde in der Gruppe der beteiligten Kodierer gemeinsam verbessert. Bei der Kodierung auftretender Schwierigkeiten stellte vor allem die Kodierweise ein Problem dar: Wird statt einer intervallgebundenen Prüfung der Übereinstimmung das absolute Auftreten innerhalb des gesamten Prozesses berücksichtigt, verbessern sich die Werte für die Beobachterübereinstimmung maßgeblich ($0,59 \leq \kappa \leq 0,77$). Für die Hauptstudie wurde daher mit dem Ziel einer möglichst guten Erfassung auftretender Schwierigkeiten auf eine intervallgebundene Kodierung verzichtet. Dadurch können Schwierigkeiten zwar nicht mehr in unmittelbaren zeitlichen Zusammenhang mit bestimmten Lerntätigkeiten gebracht werden, jedoch kann das Auftreten weiterhin als Bedingungsfaktor für erfolgreiches Lernen im Gesamtprozess untersucht werden.

Die Tests zur Erfassung der kognitiven Grundfähigkeiten und dem prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren wurden aufgrund hinreichend guter Messqualität unverändert in die Hauptstudie übernommen. Auch der Fragebogen zum individuellen Fachinteresse wurde für die Hauptstudie unmittelbar übernommen. Um die Qualität des Leistungstests zum konzeptbezogenen Wissen zu verbessern, wurden zunächst Distraktoranalysen für Items mit schlechten Trennschärfen ($r_{it} < 0,2$) durchgeführt, um Hinweise auf mögliche Probleme in der Itemkonstruktion zu

finden (vgl. Walpuski & Ropohl, 2014). Ausgehend hiervon wurden die Antwortoptionen überarbeitet. Gleichzeitig wurde die sprachliche Komplexität der Items kritisch geprüft und durch Vereinfachungen und Präzisierungen angepasst. Darüber hinaus wurde die inhaltliche Ausrichtung der Items vor dem Hintergrund der Lernziele überprüft und mit Hilfe der Lernprozessdaten erfolgreicher Schülerinnen und Schüler angepasst. Zusätzlich wurde die Itemanzahl durch neu konstruierte Items erhöht, da die Genauigkeit der Messung eines Konstrukts durch eine größere Varianz unterschiedlicher Items begünstigt wird (Kauertz, 2014). Für die als Ankeritems genutzten Items zu chemischen Kernideen wurde weitere Items von Celik (2022) adaptiert. Die Konstruktion neuer Items zum themenspezifischen Wissen in den einzelnen Lernumgebungen wurde zur Erreichung hoher inhaltlicher Validität auf der Grundlage der zugrunde liegenden Lernziele (vgl. Kapitel II.3) vorgenommen. Dabei wurde neben den expliziten Zielen auch das Vorwissen, das zur Bearbeitung der Aufgabe notwendig ist, in der Itemkonstruktion berücksichtigt. In einer Nebenstudie wurde die Qualität der Items an einer hinreichend großen Stichprobe an Hauptschulen, Gesamtschulen und Gymnasien ($N = 223$) evaluiert. Die Ergebnisse zeigen, dass sich das konzeptbezogene Wissen durch die optimierten Itemsätze hinreichend genau messen lassen ($\rho \geq 0.691$).

IV HAUPTSTUDIE

IV.1 Ziele und spezifische Merkmale der Hauptstudie

Die Hauptstudie setzt unmittelbar an den Erkenntnissen der Vorstudie an. In der Hauptstudie sollen die in der Vorstudie entwickelten und adaptierten Messverfahren angewendet werden, um Zusammenhänge zwischen den erfassten Merkmalen zu untersuchen. Für die Erfassung leistungsbezogener Merkmale stehen aus der Vorstudie geeignete Messverfahren zur Verfügung, die über eine hinreichend hohe Messqualität für den Einsatz in heterogenen Lerngruppen verfügen. Zur Erfassung von Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten wird das in der Vorstudie erarbeitete und evaluierte Kategoriensystem genutzt. Im Gegensatz zur Vorstudie steht in Bezug auf die Analyse der Prozessdaten stärker die Nutzung und das Auftreten von Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten im Vordergrund, sodass der Auswertung Techniken der strukturierenden Inhaltsanalyse (Mayring, 2015) zugrunde gelegt werden. In der strukturierenden Inhaltsanalyse werden [...] bestimmte Aspekte aus dem Material [herausgefiltert], unter vorher festgelegten Ordnungskriterien ein Querschnitt durch das Material [gelegt] oder das Material aufgrund bestimmter Kriterien [eingeschätzt]“ (Mayring, 2015, S. 67). Durch das Verfahren der strukturierenden Inhaltsanalyse lassen sich quantitative Ausprägungen von Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten im Anschluss an die Auswertung gewinnen, die dann im Rahmen der Zusammenhangsanalysen untersucht werden können.

Die Ergebnisse der Hauptstudie können dazu herangezogen werden, um die in Forschungsfrage 2 formulierten Zusammenhänge zu untersuchen und zu diskutieren. Abschließend erfolgt eine qualitätsbezogene Diskussion auf der Grundlage methodologischer Aspekte und dient der Absicherung und Einordnung der gewonnenen Erkenntnisse.

IV.2 Stichprobe der Hauptstudie

Die Hauptstudie wurde im Schuljahr 2018/19 an unterschiedlichen Gymnasien sowie verschiedenen nichtgymnasialen Schularten in der Metropolregion Rhein-Ruhr des Landes Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Im Unterschied zur Vorstudie nahmen zusätzlich Schülerinnen und Schüler unterschiedlicher Haupt- und

Realschulen teil. Schülerinnen und Schüler der Gesamtschule waren in der Erhebung nicht vertreten. Die Verteilung der Schülerinnen und Schüler unterschiedlicher Schularten ist innerhalb der Stichprobe annähernd ähnlich (vgl. Tabelle 41). Die Beteiligung von Schülerinnen und Schüler der Hauptschule ist innerhalb der Stichprobe erheblich größer als in der realen Gesamtpopulation.

Tabelle 41: Stichprobe der Hauptstudie im Vergleich zur Bildungsbeteiligung von Schülerinnen und Schülern der 9. Jahrgangsstufe in Nordrhein-Westfalen im Schuljahr 2018/19 an allgemeinbildenden Schulformen

Schulform	Nordrhein-Westfalen ^b		untersuchte Stichprobe	
	N	%	N	%
Hauptschule	14 328	8.34	51	28.49
Realschule	35 991	20.94	60	33.52
Sekundar- und Gesamtschule	57 860	33.67	-	-
Gymnasium	61 246	35.64	68	37.99
Sonstige	2 436	1.42	-	-
Gesamt	171 861	100.00	179	100.00

^b Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019

Innerhalb der Stichprobe sind Daten zu den unterschiedlichen Lernumgebungen in vergleichbarem Umfang vorhanden (vgl. Tabelle 42).

Tabelle 42: Datenstruktur in der Hauptstudie

Datenumfang	Hauptschule		Realschule		Gymnasium		Gesamt	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Gesamt								
Thema „Batterien“	13	22.81	20	35.09	24	42.10	57	100
Thema „Ozeanversauerung“	19	29.23	24	36.92	22	33.85	65	100
Thema „Trinkwasser“	19	33.33	22	38.60	22	34.92	63	100
Video								
Thema „Batterien“	10	27.03	12	32.43	15	40.54	37	77.19
Thema „Ozeanversauerung“	11	30.00	9	30.00	16	40.00	36	69.23
Thema „Trinkwasser“	8	30.00	9	33.33	11	36.67	28	58.73

Von den 179 Schülerinnen und Schülern wurden zusätzlich die Arbeitsphasen von 101 Schülerinnen und Schüler zum zweiten Messzeitpunkt videographiert. Für die Analysen stehen mehr Daten zu den Themen „Batterien“ und „Ozeanversauerung“ zur Verfügung als es für die Lernumgebung zum Thema „Trinkwasser“ der Fall ist. Genau wie in der Vorstudie auch, sind in den untersuchten Klassen kooperative Experimentieraufgaben noch nicht zum Einsatz gekommen.

IV.3 Ergebnisse der Hauptstudie

IV.3.1 Qualität der eingesetzten Messverfahren

Zur Beurteilung der Qualität der eingesetzten Tests wird in der Hauptstudie ausschließlich die Reliabilität herangezogen, da sich so die Messqualität durch statistische Koeffizienten anhand vorliegender Wertebereiche standardisiert interpretieren und beurteilen lässt. Eine Auseinandersetzung hinsichtlich Objektivität und Validität erfolgte im Rahmen der Vorstudie und wurde bei der Durchführung und Auswertung der Hauptstudie in gleicher Weise berücksichtigt. Insgesamt zeigen die eingesetzten Messinstrumente eine hinreichend hohe Messgenauigkeit zur Analyse von Zusammenhängen auf individueller Ebene (vgl. Tabelle 43).

Tabelle 43: Reliabilitäten der eingesetzten Messinstrumente zur Leistungsdiagnostik in der Hauptstudie

Skala		Messzeitpunkt 1	Messzeitpunkt 3
Kognitive Grundfähigkeiten		$\rho_{WLE} = .840$	-
Konzeptbezogenes Fachwissen in Chemie	Thema „Batterien“	$\rho_{WLE} = .717$	$\rho_{WLE} = .819$
	Thema „Ozeanversauerung“	$\rho_{WLE} = .681$	$\rho_{WLE} = .874$
	Thema „Trinkwasser“	$\rho_{WLE} = .798$	$\rho_{WLE} = .850$
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren		$\rho_{WLE} = .678$	-
Individuelles Fachinteresse		$\rho_{WLE} = .858$	-

Für die Tests zum konzeptbezogenen Fachwissen deuten die hohen Reliabilitätskoeffizienten zu Messzeitpunkt 3 auf eine stabile und reliable Erfassung des

Merkmals durch die einzelnen Tests hin. Die geringere Reliabilität der Tests zu Messzeitpunkt 1 kann unter anderem mit dem geringer ausgeprägten Fachwissen vor der Bearbeitung der Lernumgebungen erklärt werden. Die Daten aus dem Test zum prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren wurden trotz der vergleichsweise niedrigeren, aber zufriedenstellenden Reliabilität, mit in die Analysen aufgenommen, da es sich um ein bereits mehrfach erprobtes und evaluiertes Instrument mit hoher Konstruktvalidität handelt (Koenen, 2014; Mannel, 2011).

Zur Überprüfung der Qualität finalen Kodierung der Prozessdaten wurden 15,42 % der Fälle in den Prozessdaten durch drei unterschiedliche Kodierer unabhängig voneinander doppelt kodiert. Hierzu wurde auf das Kodierschema aus der Vorstudie zurückgegriffen (vgl. Tabelle 38, S. 108). Die Auswahl der doppelt kodierten Fälle erfolgte randomisiert und mit vergleichbarer Gewichtung jeder Lernaufgabe. Insgesamt weist das Verfahren zur Auswertung der Prozessdaten mit Blick auf die Auswertungsaspekte „Individuelle Lernaktivitäten beim Experimentieren“ und „Schwierigkeiten während der Experimentierphase“ eine hohe Qualität auf (vgl. Tabelle 44).

Tabelle 44: Übersicht der Güte eingesetzter Verfahren zur Lernprozessdiagnostik in der Hauptstudie

Auswertungsaspekt	Messzeitpunkt 2	
<i>Individuelle Lernaktivitäten beim Experimentieren</i>	$.74 \leq \kappa \leq .93$	$\bar{\kappa} = .82$
<i>Schwierigkeiten während der Experimentierphase</i>	$.66 \leq \kappa \leq .82$	$\bar{\kappa} = .78$

Insgesamt weisen die angewendeten Messverfahren eine gute Messqualität auf. Die erhobenen Merkmale zu den drei Messzeitpunkten können daher ausnahmslos in die folgenden Analysen aufgenommen werden.

IV.3.2 Effektivität der eingesetzten Lernumgebungen

Von zentraler Bedeutung für die Analysen zu den Zusammenhängen zwischen Dispositionen und Performanzen ist der Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler, der im Folgenden über die Veränderung im konzeptbezogenen Fachwissen von Messzeitpunkt 1 zu Messzeitpunkt 3 modelliert wird. Damit lassen sich auch Aussagen

über die Effektivität der Lernumgebungen treffen, deren Zielsetzung im Aufbau konzeptbezogener Wissensstrukturen liegen (vgl. Kapitel II.3). Es zeigt sich, dass sich das konzeptbezogene Wissen der Lernenden unabhängig von der bearbeiteten Lernumgebung über die Messzeitpunkte im Mittel verbessern (vgl. Abbildung 29). Innerhalb der Gesamtstichprobe erhöht sich die Personenfähigkeit im konzeptbezogenen Fachwissen signifikant von Messzeitpunkt 1 zu Messzeitpunkt 3 ($F(1,100) = 33.211, p < .001, \eta^2 = 0.249$).

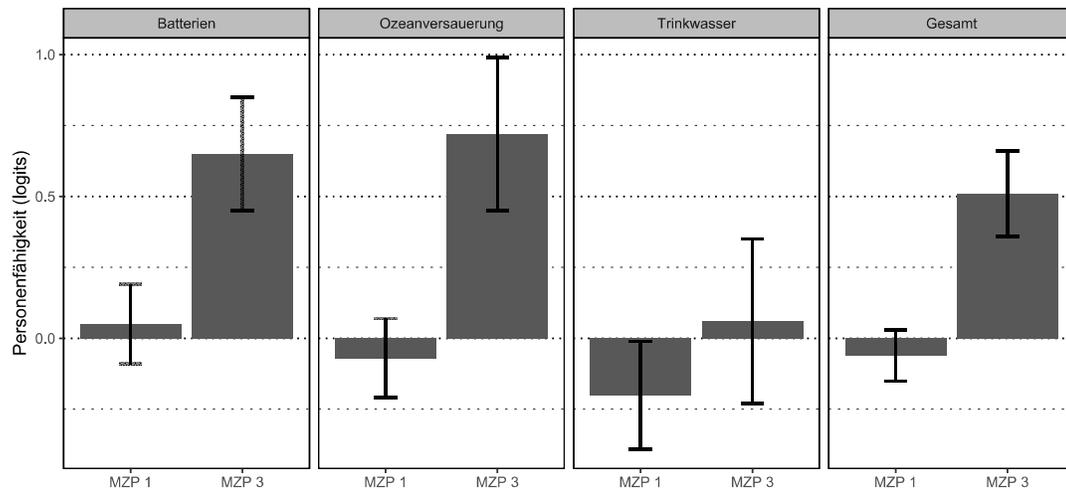


Abbildung 29: Übersicht zur Entwicklung des konzeptbezogenen Fachwissens (Hauptstudie)

Differenziert nach den Lernumgebungen zeigt sich ein vergleichbares Bild für die Lernumgebungen zu den Themen „Batterien“ ($F(1,36) = 22.892, p < .001, \eta^2 = 0.389$) und „Ozeanversauerung“ ($F(1,35) = 14.381, p = .001, \eta^2 = 0.291$). Nur für die Lernumgebung zum Thema „Trinkwasser“ kann der Lernerfolg statistisch nicht abgesichert werden ($F(1,27) = 2.630, p = .116, \eta^2 = 0.089$). Da in den Analysen globale und themenunabhängige Zusammenhänge untersucht werden sollen, wird auf einen Ausschluss der Teilstichprobe zum Thema „Trinkwasser“ verzichtet.

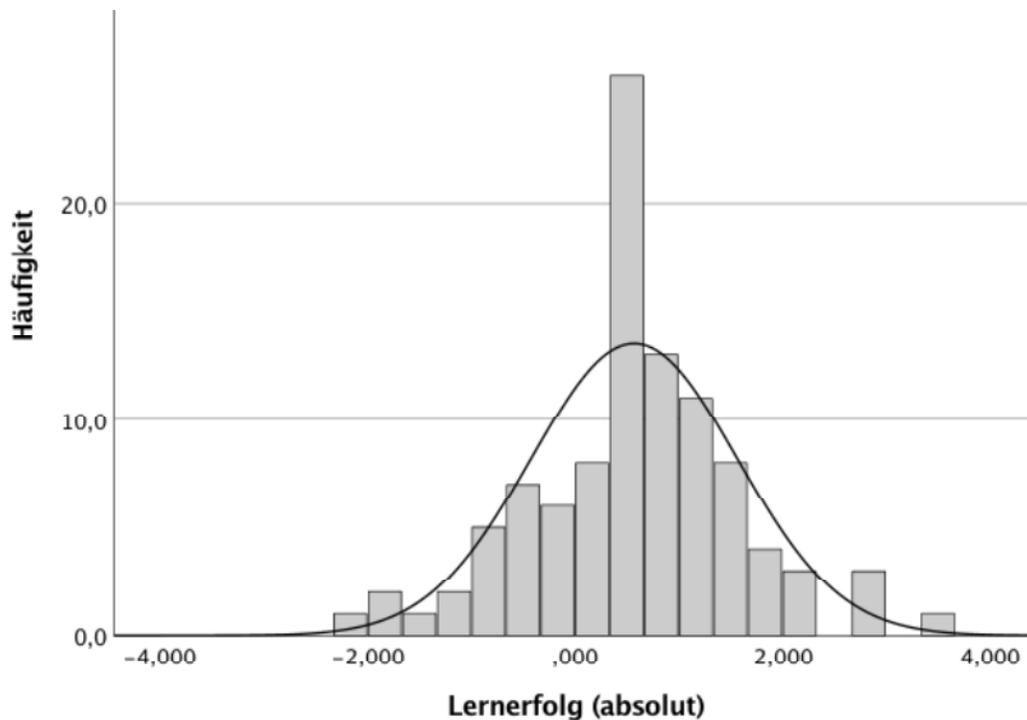


Abbildung 30: Statistische Verteilung des individuellen Lernerfolgs (absolut)

Der absolute individuelle Lernerfolg ist normalverteilt ($W(101) = 0,983$, $p = 0,225$) und bestätigt durch die mehrheitlich positive Ausprägung ($M = 0,571$) die Effektivität der Lernumgebungen für einen Großteil der Lernenden.

IV.3.3 Determinanten des individuellen Lernerfolgs

Die bisherigen Ergebnisse liefern bereits Erkenntnisse zur Bedeutsamkeit individueller Lernvoraussetzungen für den individuellen Lernerfolg, lassen jedoch keine Aussagen über kausale Beziehungen und Wirkrichtungen im Sinne determinierender Faktoren zu. Darüber hinaus bleiben individuelle Lernaktivitäten auf Prozessebene unberücksichtigt. Erkenntnisse darüber liefern lineare Regressionsmodelle, in die der individuelle Lernerfolg als abhängige Variable und die unterschiedlichen erhobenen Merkmale auf Leistungs- und Prozessebene eingehen. Neben dem konzeptbezogenen Fachwissen zu Messzeitpunkt 1, den kognitiven Grundfähigkeiten, dem Wissen über naturwissenschaftliche Arbeitsweisen sowie dem individuellen Fachinteresse als für das Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben relevante Lernvoraussetzungen werden auch die beobachtbaren Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten als Prädiktoren in das Regressionsmodell aufgenommen (vgl. Tabelle 45).

Tabelle 45: Übersicht über relevante Prädiktoren in der Untersuchung

Aspekt	Skalenniveau	Operationalisierung
<i>Individueller Lernerfolg (absolut)</i>	intervallskaliert	Absolute Differenz im Fachwissen zwischen Messzeitpunkt 3 und Messzeitpunkt 1
<i>Konzeptbezogene Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)</i>	intervallskaliert	Performanz in den Tests zum konzeptbezogenen Fachwissen in Chemie (Ergebnis der geankerten IRT-Skalierung)
<i>Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren</i>	intervallskaliert	Performanz im Test zum prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren (Ergebnis der IRT-Skalierung)
<i>Kognitive Grundfähigkeiten</i>	intervallskaliert	Performanz im Test zu kognitiven Grundfähigkeiten (Ergebnis der IRT-Skalierung)
<i>Individuelles Fachinteresse</i>	intervallskaliert	Performanz im Fragebogen zum individuellen Interesse im Fach Chemie (Ergebnis der IRT-Skalierung)
<i>Individuelle Lerntätigkeiten im Bereich Planung</i>	intervallskaliert	Ausprägungen unterschiedlicher Lerntätigkeiten (standardisierte Häufigkeiten) des übergeordneten Aktivitätsbereiches „Planung“
<i>Individuelle Lerntätigkeiten im Bereich Durchführung</i>	intervallskaliert	Ausprägungen unterschiedlicher Lerntätigkeiten (standardisierte Häufigkeiten) des übergeordneten Aktivitätsbereiches „Durchführung“
<i>Individuelle Lerntätigkeiten im Bereich Beobachtung</i>	intervallskaliert	Ausprägungen unterschiedlicher Lerntätigkeiten (standardisierte Häufigkeiten) des übergeordneten Aktivitätsbereiches „Beobachtung“
<i>Individuelle Lerntätigkeiten im Bereich Auswertung</i>	intervallskaliert	Ausprägungen unterschiedlicher Lerntätigkeiten (standardisierte Häufigkeiten) des übergeordneten Aktivitätsbereiches „Auswertung“
<i>Individuelle, übergreifende Lerntätigkeiten</i>	intervallskaliert	Ausprägungen unterschiedlicher übergreifender Lerntätigkeiten (standardisierte Häufigkeiten)
<i>Anzahl auftretender Schwierigkeiten</i>	ordinalskaliert	Summe aller auftretenden Schwierigkeiten im gesamten Experimentierprozess

Leistungsbezogene Lernvoraussetzungen

Für die erfassten individuellen Lernvoraussetzungen ergeben sich unterschiedlich starke Zusammenhänge mit dem individuellen Lernerfolg. Während kognitive Grundfähigkeiten und das prozessbezogene Wissen zum Experimentieren mittelstark mit dem individuellen Lernerfolg korreliert sind, zeigt sich für das

konzeptbezogene Vorwissen und das individuelle Fachinteresse nur ein geringer Zusammenhang (vgl. Tabelle 46).

Tabelle 46: Korrelationen zwischen dem individuellen Lernerfolg und individuellen Lernvoraussetzungen

Individueller Lernerfolg (absolut)	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	0,193
Kognitive Grundfähigkeiten	0,480
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,492
Individuelles Fachinteresse	0,156

Die Ergebnisse einer linearen Regressionsanalyse (Methode: Einschluss) bestätigen die in der vorangegangenen Korrelationsanalyse gefundenen Zusammenhänge. Bis auf das individuelle Fachinteresse sind individuelle Lernvoraussetzungen eine zentrale Bedingung für erfolgreiches Lernen (vgl. Abbildung 31).

Tabelle 47: Modellparameter zu den Wirkungszusammenhängen in Abbildung 31

Modell	Abhängige Variable	Modellparameter		
		R^2	F	p
(1)	Individueller Lernerfolg (absolut)	0.305	15.610	< 0.001

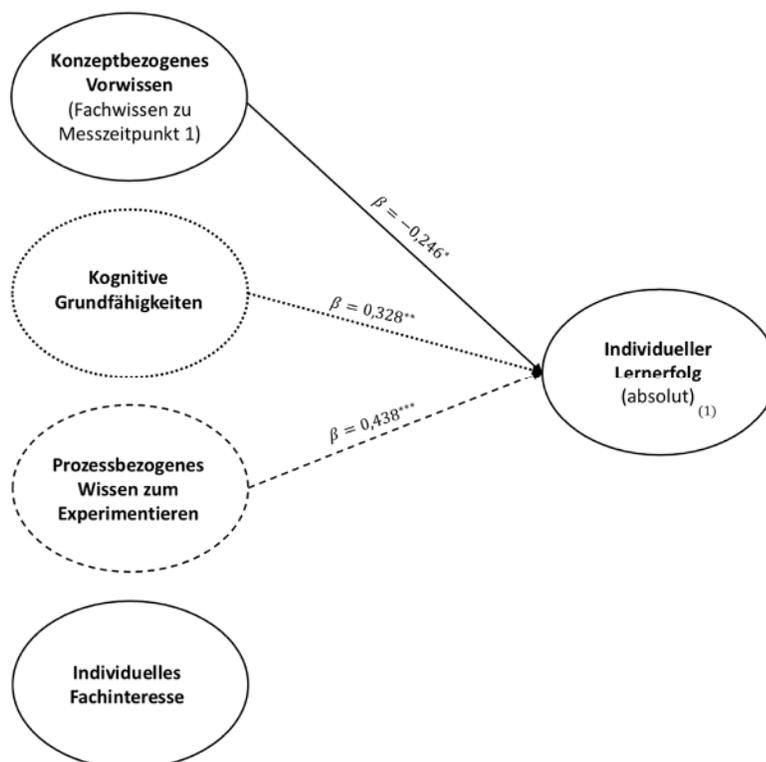


Abbildung 31: Einfluss individueller Lernvoraussetzungen auf den individuellen Lernerfolg

Auffällig ist der negative Einfluss des konzeptbezogenen Vorwissens auf den individuellen Lernerfolg, sodass ein hohes konzeptbezogenes Vorwissen als eher einschränkend auf den individuellen Lernerfolg wirkt. Insgesamt können durch die individuellen Lernvoraussetzungen 30,5 % der Varianz des individuellen Lernerfolgs statistisch bedeutsam aufgeklärt werden (vgl. Tabelle 47).

Lerntätigkeiten im Experimentierprozess

Für die im Lernprozess genutzten Lerntätigkeiten deuten Korrelationsanalysen insbesondere auf einen starken Zusammenhang zwischen dem individuellen Lernerfolg und Lerntätigkeiten hin, die in direktem Bezug zur Planung und Auswertung stehen (vgl. Tabelle 48). Zusätzlich ist der individuelle Lernerfolg mit der Formulierung prozessbezogener Fragen korreliert. Nicht aufgabenbezogenes Arbeiten ist im Gegensatz zu anderen Aspekten mittelstark negativ korreliert.

Tabelle 48: Korrelationen zwischen dem individuellen Lernerfolg und individuellen Lerntätigkeiten

Individueller Lernerfolg (absolut)	
	r_p
Lernende sichten das Material.	0,025
Lernende besprechen oder diskutieren die Zielsetzung der Experimentieraufgabe.	0,150
Lernende beschreiben den Nutzen des Materials.	0,248
Lernende beschreiben ein Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabe.	0,387
Lernende formulieren eine Vermutung.	0,261
Lernende führen eine einfache experimentelle Handlung zur Vor- oder Nachbereitung eines Ansatzes aus.	0,119
Lernende führen eine experimentelle, aufgabenbezogene Handlung aus.	0,089
Lernende nehmen aufgabenrelevante Variablen wahr.	-0,033
Lernende beschreiben oder benennen Ausprägungen aufgabenrelevanter Beobachtungen oder Messwerte.	0,000
Lernende setzen Beobachtungen aufgabenbezogen miteinander in Beziehung.	0,126
Lernende leiten Zusammenhänge aus den Beobachtungen ab.	0,300
Lernende beschreiben aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,376
Lernende erläutern aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,110
Lernende diskutieren aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,326

Tabelle 47 (Fortsetzung): Korrelationen zwischen dem individuellen Lernerfolg und individuellen Lerntätigkeiten

Individueller Lernerfolg (absolut)	
	<i>r_p</i>
Lernende betrachten das Lernmaterial.	- 0,009
Lernende geben Informationen des Lernmaterials wieder.	0,117
Lernende wenden Informationen des Lernmaterials an.	0,191
Lernende arbeiten nicht aufgabenbezogen.	- 0,445
Lernende stellen eine konzeptbezogene Frage.	- 0,018
Lernende stellen eine prozessbezogene Frage.	0,242
Lernende äußern eine organisatorische Aussage.	0,137

Die auf der Grundlage der Korrelationsanalyse durchgeführte lineare Regressionsanalyse (Methode: Schrittweise rückwärts) zur Klärung bedeutsamer Einflüsse individueller Lerntätigkeiten auf den individuellen Lernerfolg zeigen nur für einen Teil der Lerntätigkeiten statistisch bedeutsame Wirkungszusammenhänge (vgl. Abbildung 32).

Durch individuelle Lerntätigkeiten aus den Bereichen Planung, Durchführung, Beobachtung und Auswertung lässt sich mit 35,3 % ähnlich viel Varianz aufklären wie durch individuelle Lernvoraussetzungen (vgl. Tabelle 49). Das Beschreiben eines zur Bearbeitung der Aufgabe passenden Vorgehens sowie das Beschreiben und Diskutieren aufgabenbezogener Schlussfolgerungen wirkt sich hierbei positiv auf den individuellen Lernerfolg aus, während nicht aufgabenbezogenes Arbeiten den individuellen Lernerfolg negativ beeinflusst. Auch das vermehrte Stellen konzeptbezogener Fragen hat einen negativen Einfluss auf den individuellen Lernerfolg. Ein ähnlicher Zusammenhang besteht für das Beschreiben von Beobachtungen.

Tabelle 49: Modellparameter zu den Wirkungszusammenhängen in Abbildung 32

Modell	Abhängige Variable	Modellparameter		
		<i>R</i> ²	<i>F</i>	<i>p</i>
(2)	Individueller Lernerfolg (absolut)	0.353	5.639	< 0.001

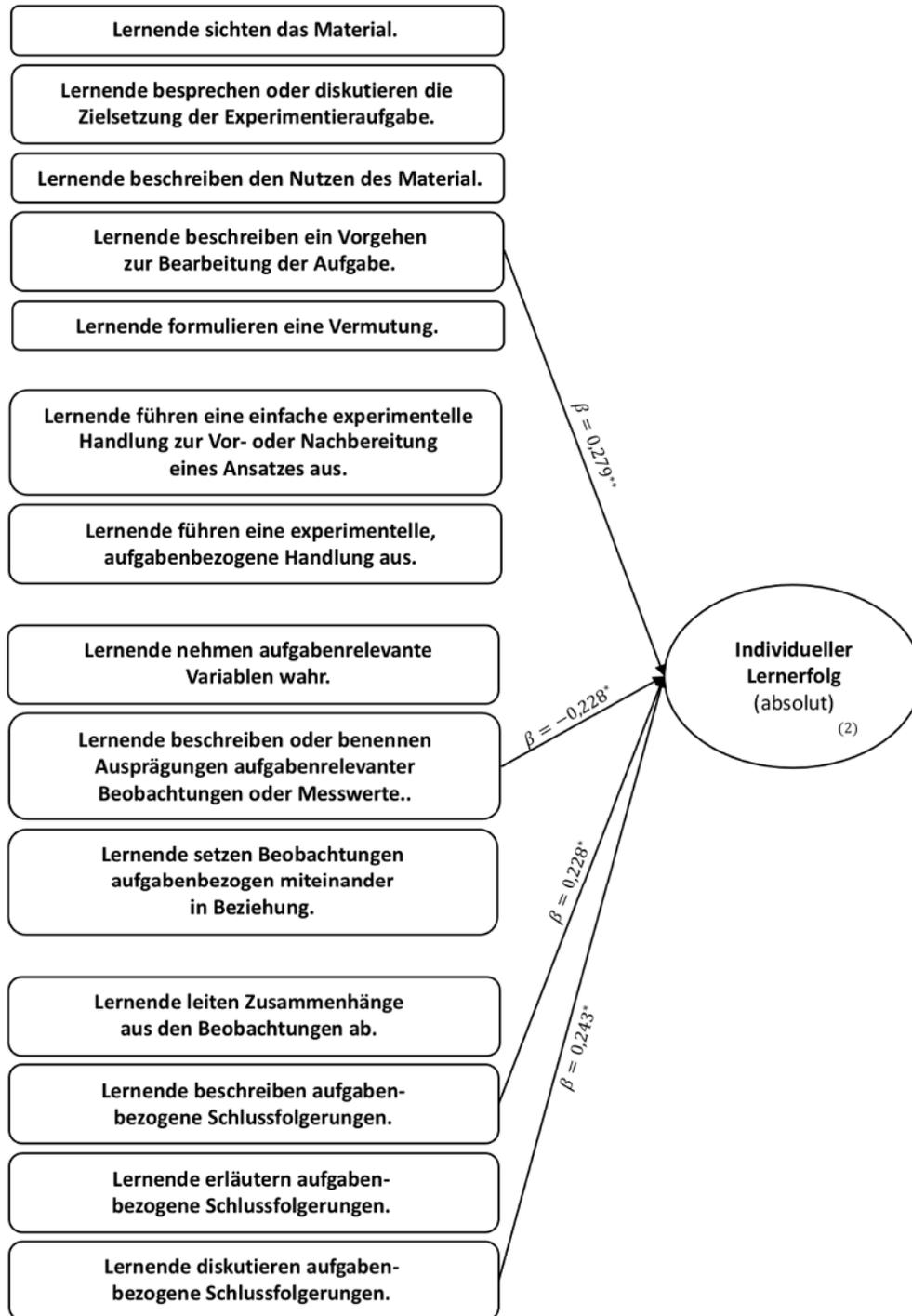


Abbildung 32: Einfluss individueller Lerntätigkeiten auf den individuellen Lernerfolg

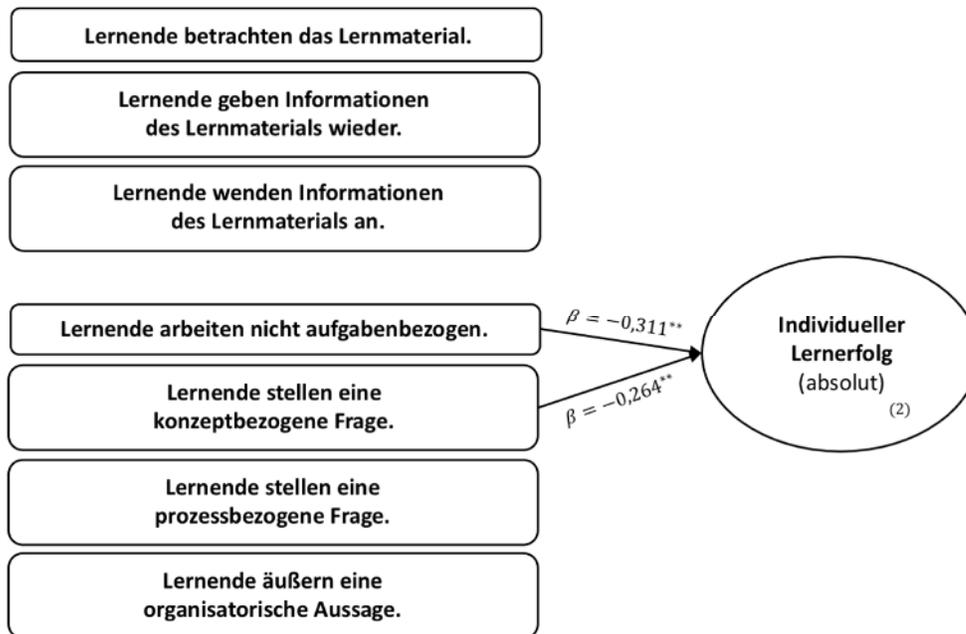


Abbildung 32 (Fortsetzung): Einfluss individueller Lerntätigkeiten auf den individuellen Lernerfolg

Schwierigkeiten im Experimentierprozess

Zusätzlich zu den bereits untersuchten Determinanten des individuellen Lernerfolgs konnten im globalen Regressionsmodell auch die im Experimentierprozess auftretenden Schwierigkeiten als relevanter Faktor für erfolgreiches Lernen identifiziert werden. Insgesamt lassen sich zwölf unterschiedliche Schwierigkeiten beobachten, die in unterschiedlicher Intensität im Experimentierprozess auftreten (vgl. Abbildung 33).

Während inhaltliche und verständnisbezogene Fehler und die Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge eher selten auftreten, lassen sich vor allem Schwierigkeiten, die sich unmittelbar auf die Bearbeitung der Lernaufgaben beziehen (vor allem eine fehlerhafte oder unvollständige Lösungen der Aufgabe) weitaus häufiger beobachten. Die Anzahl aller auftretenden Schwierigkeiten ($\beta = -0,340^{**}$) innerhalb des Lernprozesses hat einen direkten Einfluss auf den individuellen Lernerfolg ($R^2 = 0,107$, $F(1, 99) = 12,942$, $p = 0,001$), indem durch eine steigende Anzahl auftretender Schwierigkeiten der individuelle Lernerfolg negativ beeinflusst wird.



Abbildung 33: Auftreten unterschiedlicher Schwierigkeiten bei Bearbeitung der Experimentieraufgaben

Auf der Ebene einzelner Schwierigkeiten zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede in Bezug auf einen Zusammenhang mit dem individuellen Lernerfolg (vgl. Tabelle 50).

Tabelle 50: Korrelationen zwischen dem individuellen Lernerfolg und auftretenden Schwierigkeiten

Individueller Lernerfolg (absolut)	
Auftretende Schwierigkeit	r_{pbis}
Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung	- 0,310
Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	- 0,020
Unsystematische Untersuchungen	- 0,286
Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	0,022
Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	- 0,068
Ungünstige Versuchsbedingungen	0,009
Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	0,009
Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	- 0,189

Tabelle 50 (Fortsetzung): Korrelationen zwischen dem individuellen Lernerfolg und auftretenden Schwierigkeiten

Individueller Lernerfolg (absolut)	
Auftretende Schwierigkeit	r_{pbis}
Fehler beim Schlussfolgern	- 0,229
Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	- 0,181
Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	0,174
Unvollständige Lösung der Aufgabe	- 0,504

Ein großer Teil der auftretenden Schwierigkeiten steht in keinem großen Zusammenhang mit dem individuellen Lernerfolg. Das Auftreten von Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung, unsystematischen Untersuchungen, Fehlern beim Schlussfolgern sowie eine unvollständige Lösung der Aufgabe ist hingegen jeweils in bedeutsamer Größe mit dem individuellen Lernerfolg korreliert. Den höchsten linearen Zusammenhang mit dem individuellen Lernerfolg weist dabei eine unvollständige Lösung der Aufgabe auf. Für die vier genannten Schwierigkeiten deuten die negativen Korrelationskoeffizienten darauf hin, dass eine steigende Ausprägung auf einem Merkmal eine sinkende Ausprägung auf dem jeweils korrelierten Merkmal aufweist. Die genaue Wirkrichtung wurde mit Hilfe einer linearen Regressionsanalyse (Methode: Schrittweise rückwärts) untersucht.

Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung, Fehler beim Schlussfolgern sowie eine unvollständige Lösung der Aufgabe stellen statistisch bedeutsame Prädiktoren für den individuellen Lernerfolg dar (vgl. Abbildung 34). Da für die drei genannten Schwierigkeiten eine negative Wirkrichtung besteht ($\beta < 0$), kann davon ausgegangen werden, dass ein Auftreten dieser Schwierigkeiten zu einer Minderung des individuellen Lernerfolgs führt. Insgesamt können durch die auftretenden Schwierigkeiten im Experimentierprozess 28,6 % der Varianz im individuellen Lernerfolg aufgeklärt werden (vgl. Tabelle 51).

Tabelle 51: Modellparameter zu den Wirkungszusammenhängen in Abbildung 34

Modell	Abhängige Variable	Modellparameter		
		R^2	F	p
(3)	Individueller Lernerfolg	0.286	4.332	< 0.001

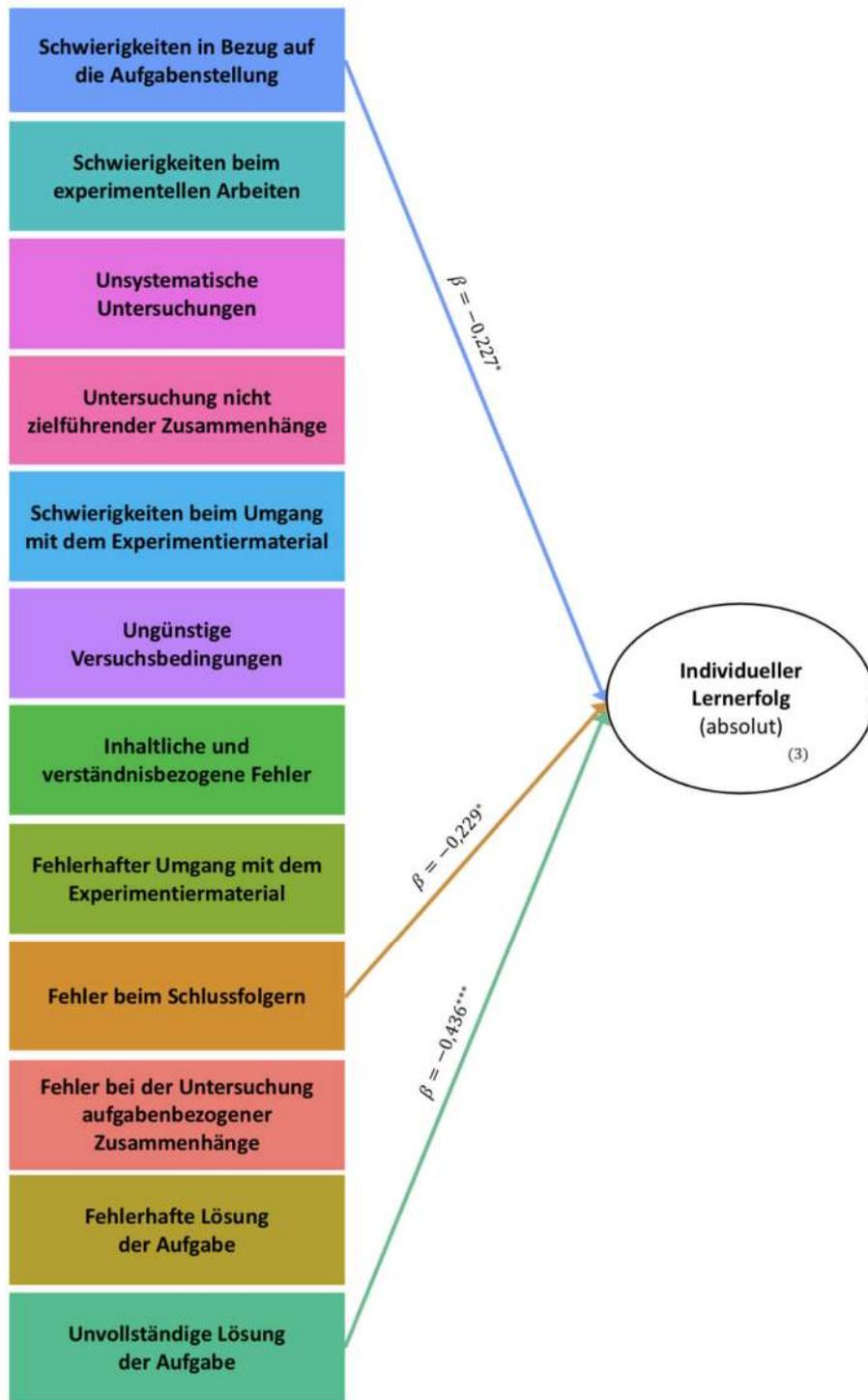


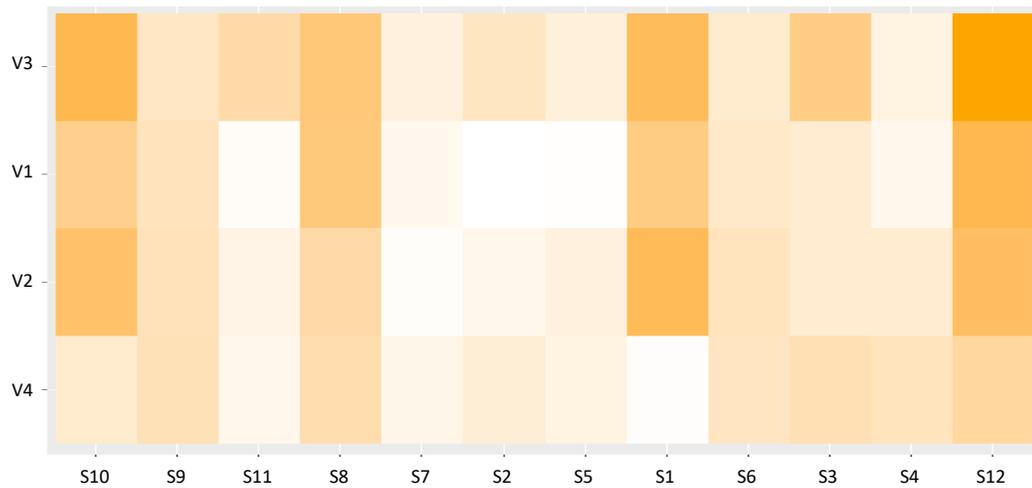
Abbildung 34: Einfluss auftretender Schwierigkeiten auf den individuellen Lernerfolg

IV.3.4 Zusammenhänge zwischen Leistungs- und Prozessmerkmalen

Die bisherigen Analysen haben gezeigt, in welchem Maß verschiedene, individuelle Einflussfaktoren auf den individuellen Lernerfolg wirken. Um diese Erkenntnisse im Sinne von Merkmalen einer adaptiven Lernprozessgestaltung verfügbar machen zu können, sind Analysen zu Zusammenhängen zwischen den individuellen Einflussfaktoren notwendig. Dadurch können mögliche Ursachen für lernerfolgsbedingende Faktoren identifiziert und hinsichtlich ihrer Wirkrichtung untersucht werden. Im Folgenden werden dazu zunächst individuelle Lernvoraussetzungen als mögliche Bedingungsfaktoren für die Nutzung von lernwirksamen Lerntätigkeiten und das Auftreten von Schwierigkeiten näher untersucht. Im Anschluss daran folgen Analysen zu Wechselwirkungen und Zusammenhängen zwischen Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten als lernbedeutsame Prozessmerkmale.

Individuelle Lernvoraussetzungen und auftretende Schwierigkeiten

Für den individuellen Lernerfolg konnten das konzeptbezogene Vorwissen, die kognitiven Fähigkeiten sowie das prozessbezogene Wissen als wirksame Determinanten bereits bestimmt werden. Für das individuelle Fachinteresse konnte an dieser Stelle kein direkter Zusammenhang nachgewiesen werden. Zur Untersuchung des Zusammenhangs individueller Lernvoraussetzungen und dem Auftreten unterschiedlicher Schwierigkeiten werden in einem ersten Schritt zunächst Korrelationsanalysen durchgeführt. Die Analysen zeigen bereits erste Hinweise auf die Bedeutung individueller Lernvoraussetzungen in Bezug auf auftretende Schwierigkeiten im Experimentierprozess (Abbildung 35). Aufgrund des Skalenniveaus der untersuchten Merkmale erfolgt die Berechnung der Korrelationen durch den punktbiserialen Korrelationskoeffizienten. Dargestellt werden die Ergebnisse der Korrelationsanalysen in einem Korrelogramm (Wilke, 2020), bei dem die untersuchten Merkmale in einer Matrix angeordnet werden. In den entstandenen Zellen wird die jeweilige Stärke der Korrelation farblich codiert dargestellt. Für fünf Schwierigkeiten lassen sich bedeutsame Korrelationen mit dem prozessbezogenen Vorwissen und den kognitiven Grundfähigkeiten finden. Zusammenhänge mit dem konzeptbezogenen Vorwissen sind eher schwach ausgeprägt, für das individuelle Fachinteresse bestehen nur sehr schwache Zusammenhänge.



S1	Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung.	S6	Ungünstige Versuchsbedingungen.
S2	Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten.	S7	Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler.
S3	Unsystematische Untersuchungen.	S8	Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial.
S4	Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge.	S9	Fehler beim Schlussfolgern.
S5	Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial.	S10	Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge.
S6	Ungünstige Versuchsbedingungen.	S11	Fehlerhafte Lösung der Aufgabe.
S7	Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler.	S12	Unvollständige Lösung der Aufgabe.

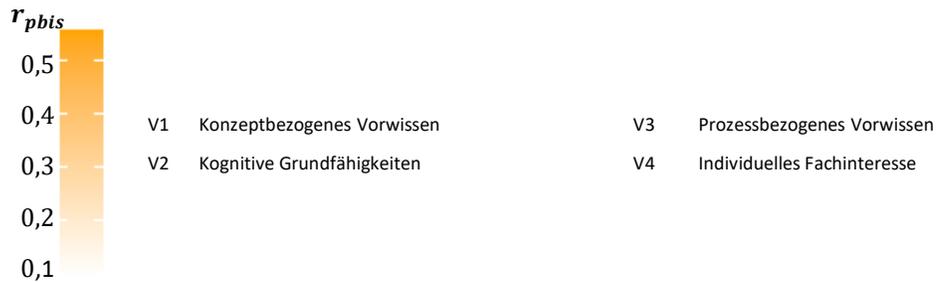


Abbildung 35: Übersicht zu bestehenden Korrelationen zwischen individuellen Lernvoraussetzungen und Schwierigkeiten

Zur Bestimmung der Wirkrichtung der Zusammenhänge werden für jede Schwierigkeit als abhängige Variable binär logistische Regressionsanalysen (Methode: Schrittweise rückwärts) durchgeführt, da beim Auftreten einer Schwierigkeit lediglich zwischen nicht aufgetreten und aufgetreten unterschieden wird. In Abbildung 36 (S. 133) sind die Ergebnisse der binär logistischen Regressionsanalysen

dargestellt. Insgesamt kann vor allem das prozessbezogene Wissen zum Experimentieren als besonders bedeutsam für das Auftreten angesehen werden. Das konzeptbezogene Vorwissen hingegen lässt sich statistisch bedeutsam für keine der auftretenden Schwierigkeiten als determinativ bestätigen. Ein geringes prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren kann als bedeutsamer Bedingungsfaktor für Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung, unsystematische Untersuchungen, einen fehlerhaften Umgang mit dem Experimentiermaterial, Fehler bei der Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge sowie eine unvollständige Lösung der Aufgabe sein. Eine fehlerhafte Lösung scheint hingegen eher durch ein hohes prozessbezogenes Wissen begünstigt. Einschränkend hierbei muss jedoch der vergleichsweise geringe Anteil an Varianzerklärung ($R^2 = 0,067$) für das Auftreten einer fehlerhaften Lösung der Aufgabe berücksichtigt werden. Fehler beim Schlussfolgern werden maßgeblich durch geringere kognitive Grundfähigkeiten sowie ein überhöhtes individuelles Fachinteresse begünstigt. Den stärksten Einfluss individueller Lernvoraussetzungen im Sinne eines vergleichsweise hohen Anteiles an Varianzaufklärung durch die Prädiktoren lassen sich bei Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung ($R^2 = 0,257$), bei Fehlern bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge ($R^2 = 0,234$) sowie in Bezug auf eine unvollständige Lösung der Aufgabe beobachten ($R^2 = 0,427$).

Tabelle 52: Modellparameter zu den Wirkungszusammenhängen in Abbildung 36

Modell	Abhängige Variable	Modellparameter		
		R^2	χ^2	p
(4)	Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung	0,257	18,451	< 0,001
(5)	Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	0	-1,345	0,246
(6)	Unsystematische Untersuchungen	0,120	9,505	0,002
(7)	Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	0	-2,751	0,097
(8)	Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	0	-1,023	0,312
(9)	Ungünstige Versuchsbedingungen	0	-2,750	0,097
(10)	Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	0	-0,825	0,364
(11)	Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	0,142	11,400	0,001
(12)	Fehler beim Schlussfolgern	0,102	8,042	0,018
(13)	Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	0,234	19,497	< 0,001
(14)	Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	0,067	4,855	0,028
(15)	Unvollständige Lösung der Aufgabe	0,427	31,654	< 0,001

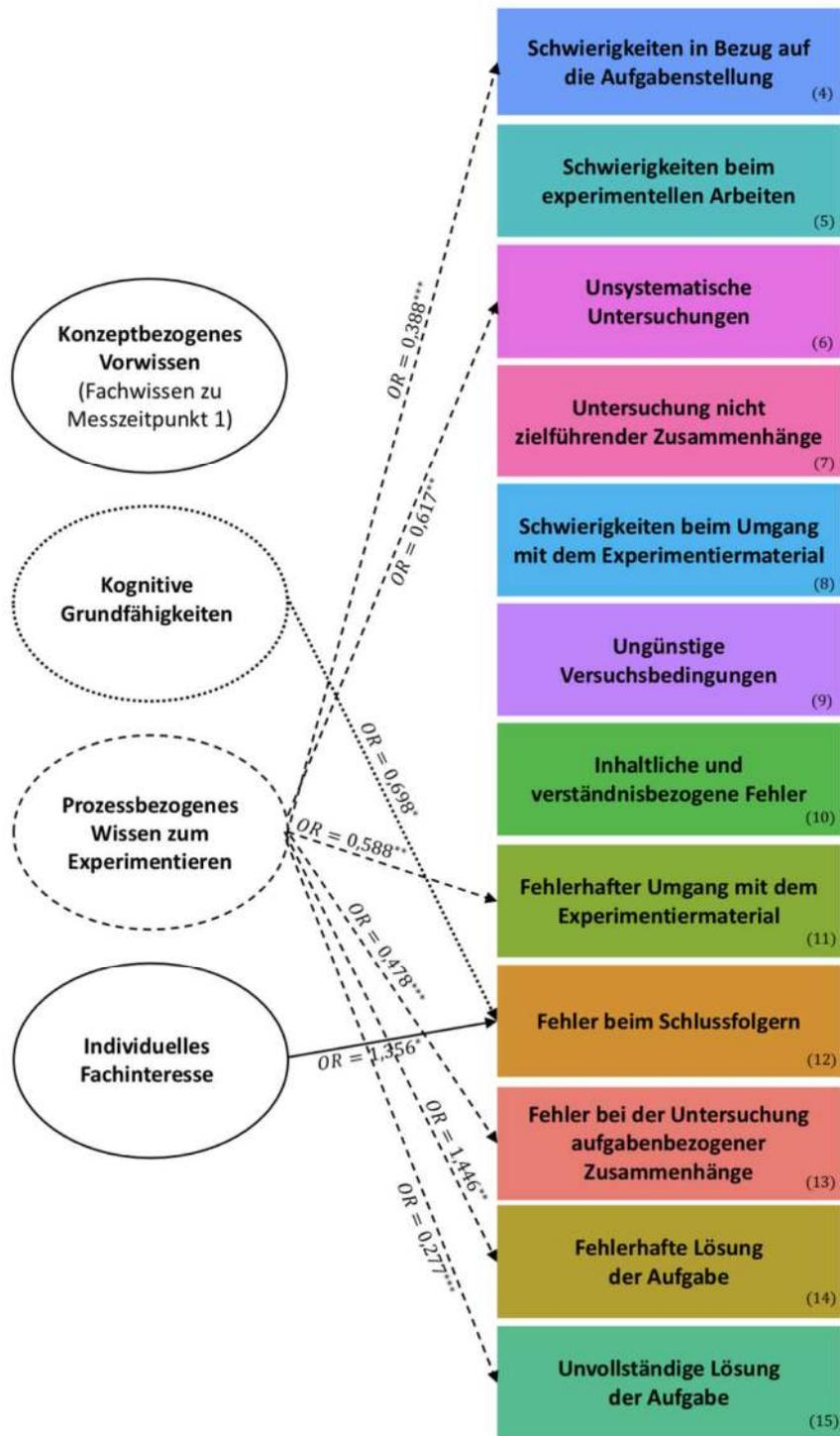


Abbildung 36: Einfluss individueller Lernvoraussetzungen auf das Auftreten von Schwierigkeiten

Für einen Teil der Schwierigkeiten können hohe oder niedrige Ausprägungen in den individuellen Lernvoraussetzungen als nicht bedeutsam angesehen werden. Da in

Regressionsanalysen, auch mit logistischer Modellannahme, weitestgehend auf linear zu diskutierende Wirkungszusammenhänge geprüft wird, wird ergänzend dazu die Verteilung des Auftretens von Schwierigkeiten in Abhängigkeit der individuellen Lernvoraussetzungen betrachtet (Abbildungen 37 bis 39). Dichtediagramme (Wilke, 2020) erlauben die Darstellung des Auftretens einer Schwierigkeit für unterschiedliche Ausprägungen einer individuellen Lernvoraussetzung. Dadurch können für einzelne Schwierigkeiten spezifische Bereiche an Lernvoraussetzungen benannt werden können, innerhalb derer Schwierigkeiten besonders häufig auftreten.

Die in den logistischen Regressionsanalysen gefundenen, empirisch bedeutsamen Wirkungszusammenhänge zwischen dem verfügbaren prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren und auftretenden Schwierigkeiten lassen sich durch die Verteilungen in den Abbildungen 37 bis 39 weitestgehend bestätigen. Für den Einfluss der kognitiven Grundfähigkeiten auf Fehler beim Schlussfolgern deutet die Verteilung eher darauf hin, dass vor allem stärkere Lernende häufiger Fehler beim Schlussfolgern machen. Allerdings deutet der Verlauf der Verteilung auch darauf hin, dass unterhalb der höchsten Ausprägung deutlich mehr Lernende Fehler beim Schlussfolgern machen. Anders als in den logistischen Regressionsanalysen lassen sich für das konzeptbezogene Vorwissen spezifische Zusammenhänge zum Auftreten einzelner Schwierigkeiten identifizieren, die sich in den Regressionsmodellen als statistisch nicht bedeutsam herausgestellt haben. Vor allem die Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge und Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial treten besonders bei Lernenden mit eher höherem konzeptbezogenem Vorwissen und höheren kognitiven Grundfähigkeiten auf. Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung sowie ein fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial treten hingegen häufiger bei Lernenden mit eher geringem konzeptbezogenem Vorwissen auf. Hier bestehen enge Zusammenhänge zwischen dem konzeptbezogenen Vorwissen und dem prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren, das als wesentlicher Bedingungsfaktor für das Auftreten dieser Schwierigkeiten bereits in den logistischen Regressionsanalysen ausgemacht werden konnte. Während für das Auftreten inhaltlicher und verständnisbezogener Fehler in den logistischen Regressionsanalysen keine individuellen Lernvoraussetzungen als statistisch bedeutsame Bedingungsfaktoren identifiziert werden konnten, lässt sich mit Blick auf das verteilungsgebundene Auftreten feststellen, dass insbesondere Lernende mit sehr geringem konzeptbezogenem Vorwissen und Lernende mit eher hohem konzeptbezogenem Vorwissen inhaltliche und verständnisbezogene Fehler machen. Ein ähnlicher Zusammenhang lässt sich für das prozessbezogene Wissen zum Experimentieren beobachten.

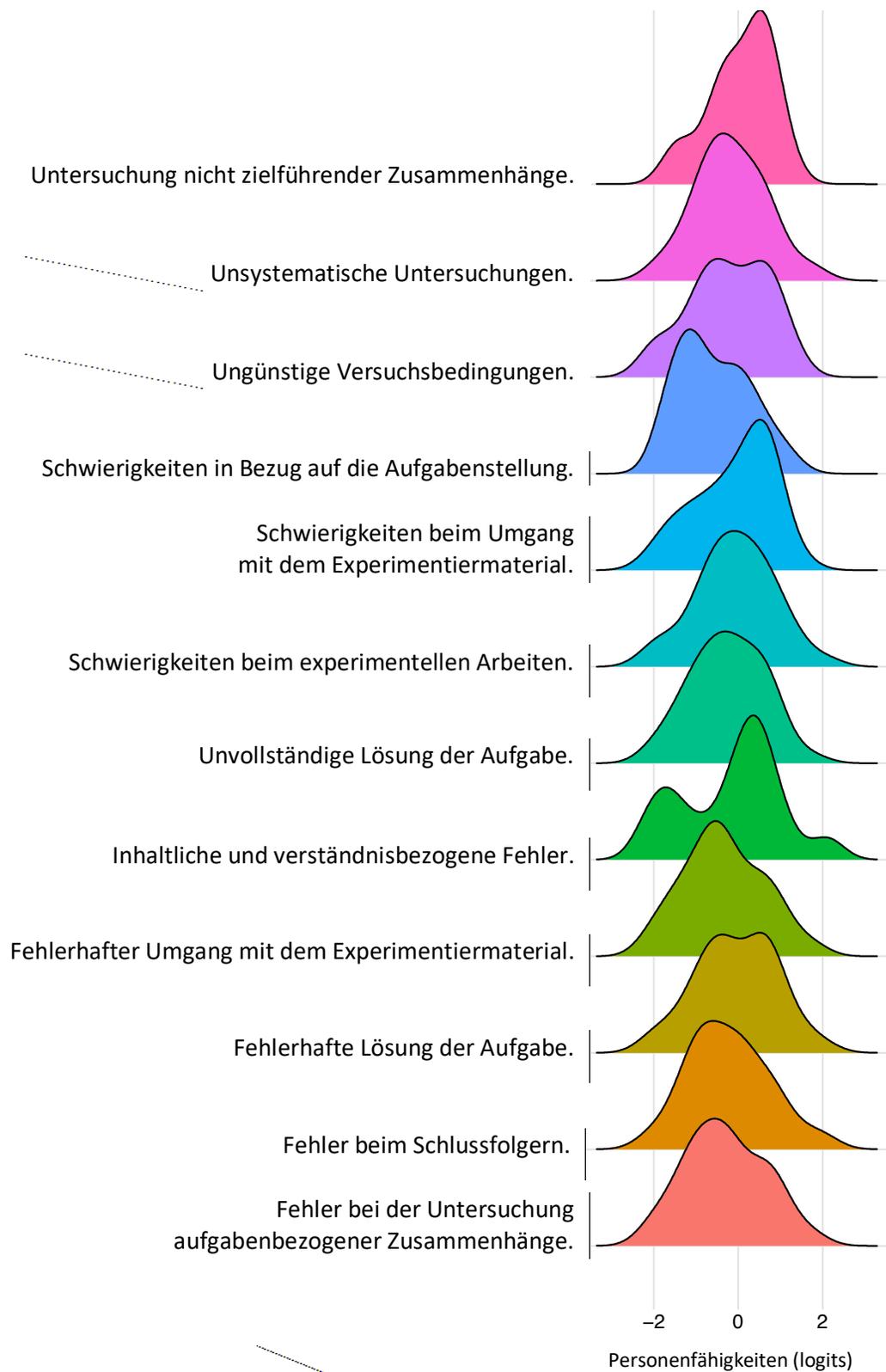


Abbildung 37: Zusammenhang zwischen dem konzeptbezogenen Fachwissen (Messzeitpunkt 1) und dem Auftreten beobachtbarer Schwierigkeiten

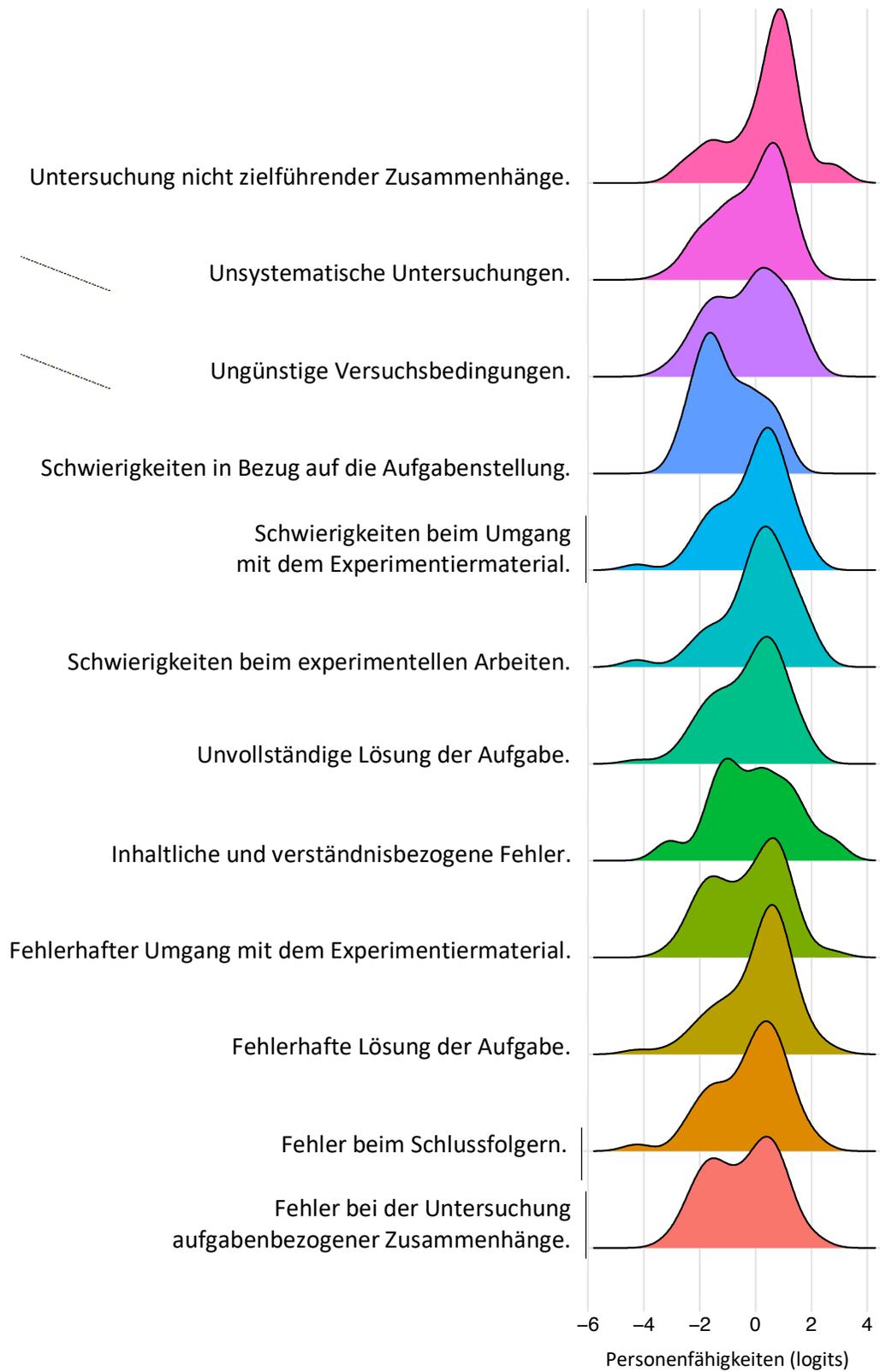


Abbildung 38: Zusammenhang zwischen den kognitiven Grundfähigkeiten und dem Auftreten beobachtbarer Schwierigkeiten

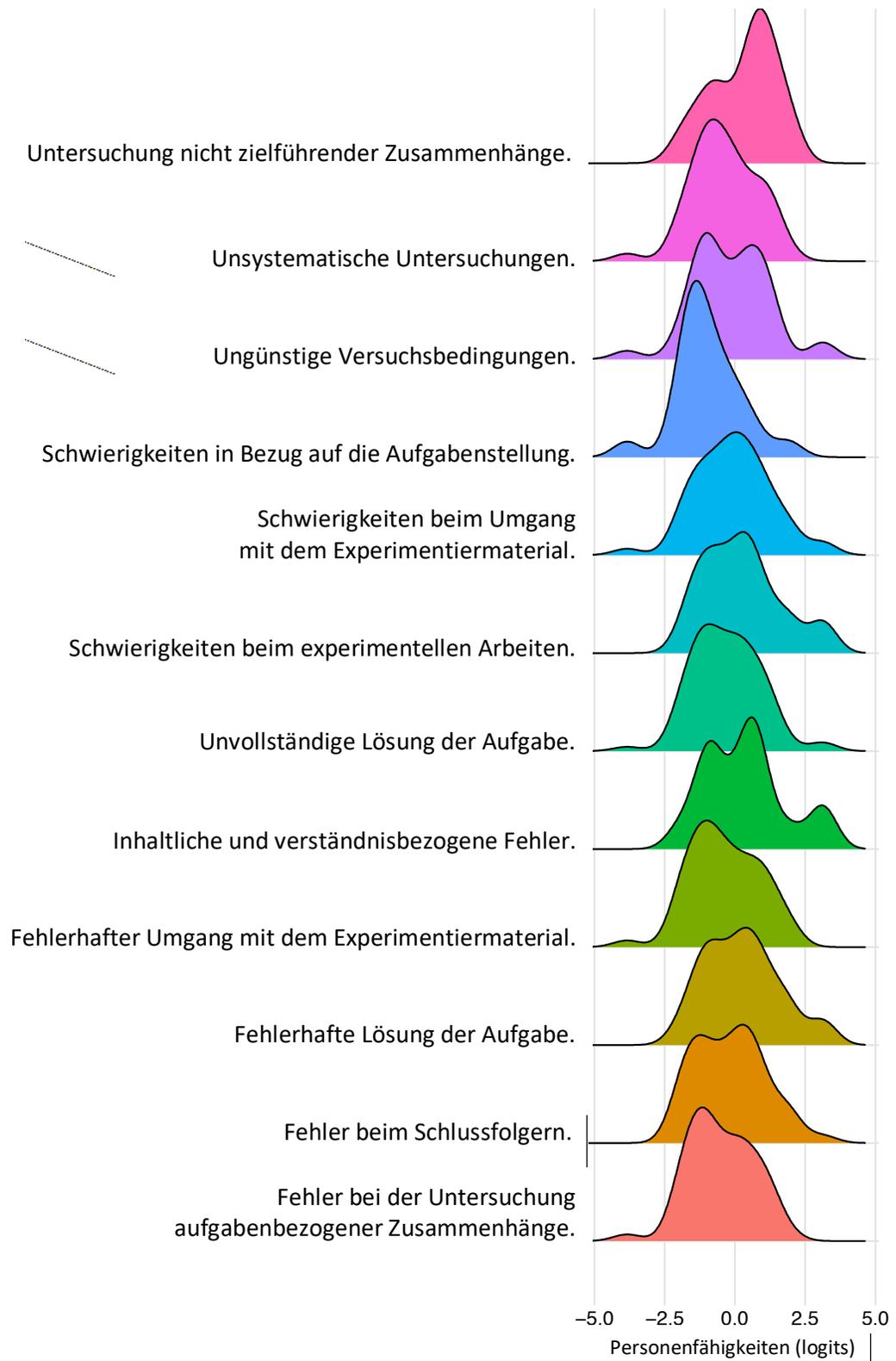


Abbildung 39: Zusammenhang zwischen dem prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren und dem Auftreten beobachtbarer Schwierigkeiten

Individuelle Lernvoraussetzungen und individuelle Lernaktivitäten

Ähnlich wie im vorangegangenen Abschnitt werden im Folgenden zunächst Hinweise auf mögliche lineare Zusammenhänge in einer Korrelationsanalyse untersucht. Dazu werden die Korrelationskoeffizienten nach Pearson bestimmt. Die Ergebnisse sind graphisch in Abbildung 40 dargestellt. Für die Nutzung verschiedener aufgabenbezogener Lerntätigkeiten während der Bearbeitung der Lernumgebungen zeigen sich dabei zwischen einzelnen Lerntätigkeiten und übergeordnet zwischen einzelnen Aktivitätsbereichen deutliche Unterschiede. Während vor allem bei Lerntätigkeiten der Aktivitätsbereiche Planung und Auswertung vergleichsweise hohe Korrelationen zu den individuellen Lernvoraussetzungen vorliegen, bestehen zu Lerntätigkeiten des Aktivitätsbereichs Beobachtung nur wenige, zu Lerntätigkeiten des Aktivitätsbereichs Durchführung keine direkten Zusammenhänge. Bei Lerntätigkeiten, die sich auf die Planung einer zur Aufgabe passenden Bearbeitungsstrategie beziehen, nimmt vor allem das prozessbezogene Wissen zum Experimentieren eine wichtige Stellung ein, indem hier vergleichsweise hohe Korrelationen zur Klärung der Zielsetzung, der Anwendung des Experimentiermaterials, der Beschreibung eines Vorgehens sowie die Formulierung von Vermutungen im Sinne eines hypothesenprüfenden Vorgehens bestehen. Für das Formulieren von Vermutungen besteht zudem ein mittlerer Zusammenhang zum konzeptbezogenen Vorwissen. Die kognitiven Grundfähigkeiten sind zwar ebenfalls mit den genannten Lerntätigkeiten korreliert, jedoch in einem deutlich geringeren Maß. Das Sichten des Materials steht in keinem relevanten Zusammenhang zu den erfassten individuellen Lernvoraussetzungen. Für Lerntätigkeiten, die sich auf die experimentalpraktische Aktivitäten beziehen, bestehen keine relevanten Korrelationen mit individuellen Lernvoraussetzungen. Zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen Lerntätigkeiten, die sich auf das Beobachten beziehen, bestehen vergleichsweise wenige und Zusammenhänge. Während die Wahrnehmung aufgabenrelevanter Variablen eher mit dem prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren in einem Zusammenhang steht, ist das Verbalisieren von Beobachtungen eher mit dem konzeptbezogenen Vorwissen korreliert. Das Inbeziehungsetzen aufgabenbezogener Beobachtungen als Grundlage für den Übergang zur Auswertung korreliert hingegen eher mit den kognitiven Grundfähigkeiten und dem individuellen Fachinteresse. Im Vergleich zu den Korrelationen zwischen den individuellen Lernvoraussetzungen und planungsbezogenen Lerntätigkeiten liegen für Lerntätigkeiten in Bezug auf das Beobachten eher geringe Korrelationen vor.

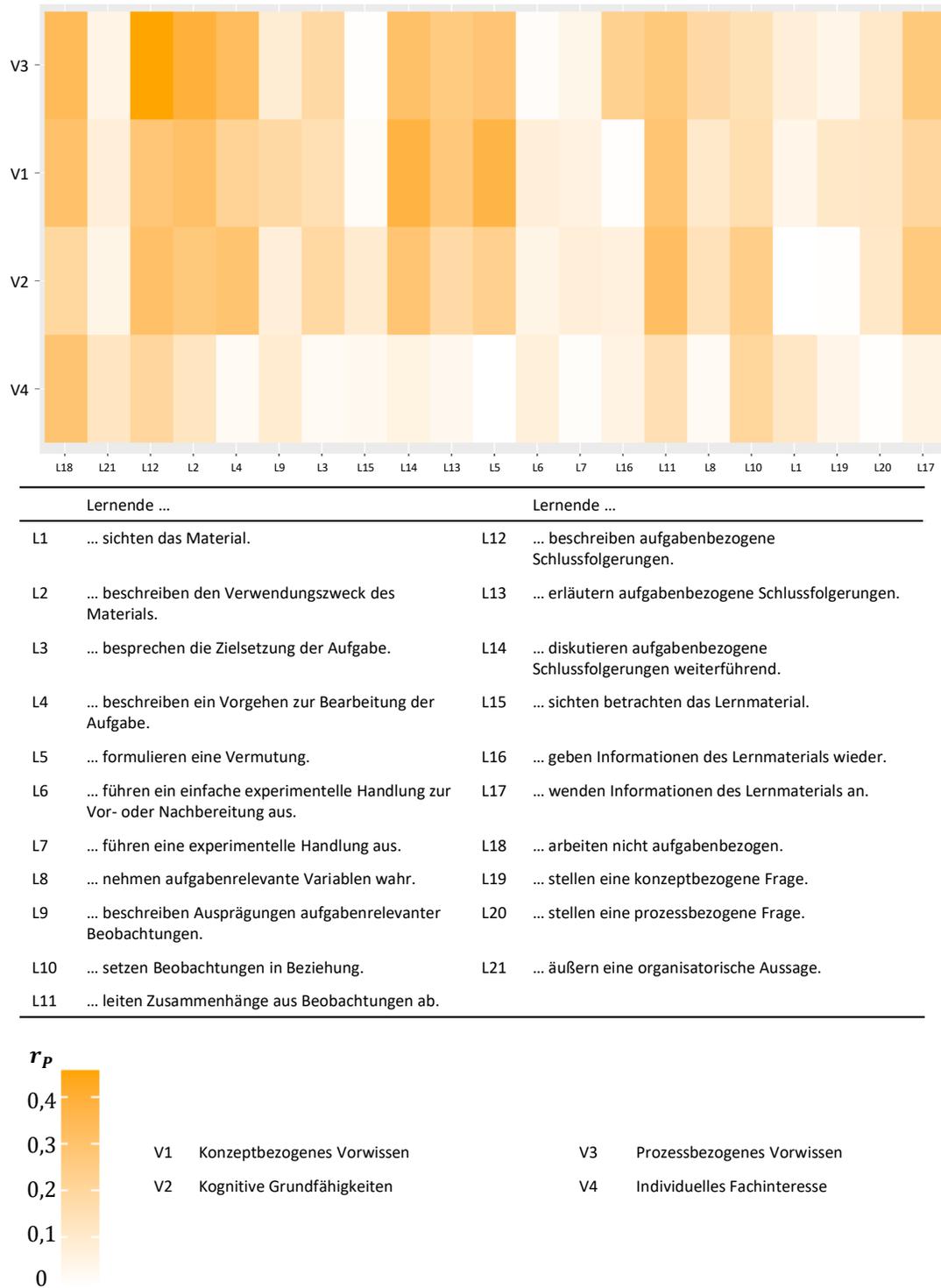


Abbildung 40: Übersicht bestehender Korrelationen zwischen individuellen Lernvoraussetzungen und individuellen Lerntätigkeiten

Im Vergleich zur beobachtungsbezogenen Lerntätigkeiten zeigen sich für Lerntätigkeiten, die einer Auswertung des Bearbeitungsprozesses der Experimentieraufgabe zugeordnet werden können, deutliche Zusammenhänge. Hier liegen durchgängig Korrelationen zwischen den einzelnen Lerntätigkeiten und dem konzeptbezogenen Vorwissen sowie dem prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren vor. Die positiven Korrelationskoeffizienten deuten zudem darauf hin, dass vor allem hohe Merkmalsausprägungen von Bedeutung sind. Vor allem das Beschreiben aufgabenbezogener Schlussfolgerungen steht in einem engen Zusammenhang zu individuellen Lernvoraussetzungen. Auch für das Diskutieren aufgabenbezogener Zusammenhänge lässt sich eine vergleichbare Korrelation beobachten. Das Erläutern aufgabenbezogener Schlussfolgerungen hängt hingegen weniger stark mit den individuellen Lernvoraussetzungen zusammen.

Lerntätigkeiten, die sich auf die Nutzung des zur Verfügung stehenden Informationsmaterials beziehen, weisen nur vergleichsweise geringe Zusammenhänge zu den individuellen Lernvoraussetzungen auf. Hier bestehen vor allem Korrelationen zu kognitiv anspruchsvolleren Prozessen wie das Anwenden vorgegebener Informationen im Bearbeitungsprozess einer Experimentieraufgabe. Auch hier ist vor allem das prozessbezogene Wissen zum Experimentieren mit den entsprechenden Lerntätigkeiten korreliert.

Für übergeordnete Lerntätigkeiten, die sich allgemein auf das Bearbeiten von Lernaufgaben im Fach Chemie beziehen, lassen sich für die individuellen Lernvoraussetzungen lediglich Korrelationen in Bezug auf das nicht aufgabenbezogene Arbeiten finden. Ein negativer Korrelationskoeffizient entspricht hier dem erwarteten Zusammenhang, da eine hohe Ausprägung beim nicht aufgabenbezogenen Arbeiten für eine geringe Beschäftigung mit der Aufgabe steht und somit nicht als förderlich für eine lernzielbezogene Bearbeitung von Lernaufgaben aufgefasst werden kann. Konzeptbezogene und prozessbezogene Fragen weisen keinen direkten Zusammenhang zu individuellen Lernvoraussetzungen auf.

Ausgehend von den Korrelationsanalysen sind demnach vor allem Wirkungszusammenhänge durch das konzeptbezogene und prozessbezogene Vorwissen zu erwarten. Um den Einfluss der individuellen Lernvoraussetzungen auf die Nutzung verschiedener aufgabenbezogener Lerntätigkeiten zu untersuchen, werden lineare Regressionsanalysen genutzt, in denen die Häufigkeit genutzter Lerntätigkeiten als abhängige Variable durch individuelle Lernvoraussetzungen aufgeklärt werden soll. Die Ergebnisse der Regressionsanalysen sind in Abbildung 41 (S. 142) graphisch dargestellt.

Tabelle 53: Modellparameter zu den Wirkungszusammenhängen in Abbildung 41

Modell	Abhängige Variable	Modellparameter		
		R^2	F	p
(16)	Lernende sichten das Material.	0	0,787	0,536
(17)	Lernende besprechen oder diskutieren die Zielsetzung der Aufgabe.	0,033	4,352	0,040
(18)	Lernende beschreiben den Nutzen des Materials.	0,171	21,449	< 0,001
(19)	Lernende beschreiben ein Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabe.	0,117	14,140	< 0,001
(20)	Lernende formulieren eine Vermutung.	0,179	11,762	< 0,001
(21)	Lernende führen eine einfache experimentelle Handlung zur Vor- oder Nachbereitung eines Ansatzes aus.	0	0,531	0,713
(22)	Lernende führen eine experimentelle, aufgabenbezogene Handlung aus.	0	0,222	0,962
(23)	Lernende nehmen aufgabenrelevante Variablen wahr.	0,030	4,075	0,046
(24)	Lernende beschreiben oder benennen Ausprägungen aufgabenrelevanter Beobachtungen oder Messwerte.	0,032	4,243	0,042
(25)	Lernende setzen Beobachtungen miteinander in Beziehung.	0,082	5,431	0,006
(26)	Lernende leiten Zusammenhänge aus den Beobachtungen ab.	0,113	13,579	< 0,001
(27)	Lernende beschreiben aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,247	17,220	< 0,001
(28)	Lernende erläutern aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,076	9,198	0,003
(29)	Lernende diskutieren aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,160	19,829	< 0,001
(30)	Lernende arbeiten nicht aufgabenbezogen.	0,189	6,733	< 0,001
(31)	Lernende stellen eine konzeptbezogene Frage.	0	0,619	0,650
(32)	Lernende stellen eine prozessbezogene Frage.	0	0,557	0,694
(33)	Lernende äußern eine organisatorische Aussage.	0	1,261	0,291
(34)	Lernende betrachten das Lernmaterial.	0	0,511	0,728
(35)	Lernende geben Informationen des Lernmaterials wieder.	0,078	5,188	0,007
(36)	Lernende wenden Informationen des Lernmaterials an.	0,075	9,044	0,003

Insgesamt können vor allem das konzeptbezogene Vorwissen sowie das prozessbezogene Wissen zum Experimentieren als bedeutsame Faktoren für die Nutzung aufgabenbezogener Lerntätigkeiten herausgestellt werden. Planungsbezogene Lerntätigkeiten werden besonders durch ein hohes prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren gefördert. Die Formulierung von Vermutungen, die einem Experiment zugrunde gelegt werden kann, wird vor allem durch ein hohes konzeptbezogenes Vorwissen begünstigt, während hohe kognitive Grundfähigkeiten allgemein eine tiefere Auseinandersetzung mit der Zielsetzung der Experimentieraufgabe anregt. Tiefergehende auswertungsbezogene Lerntätigkeiten werden maßgeblich von Lernenden mit einem hohen konzeptbezogenen Vorwissen genutzt, grundlegende auswertungsbezogene Tätigkeiten werden hingegen allgemein durch ein hohes prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren sowie hohe kognitive Grundfähigkeiten positiv beeinflusst. In Bezug auf das nicht aufgabenbezogene Arbeiten begünstigen ein hohes Wissen zum Experimentieren und ein hohes individuelles Fachinteresse eine hohe aktive Lernzeit. Weiterhin wirkt ein hohes Wissen zum Experimentieren positiv auf kognitiv komplexe Aktivitäten, die auf die Informationsverarbeitung des Aufgabenmaterials abzielen. Hohes konzeptbezogenes und prozessbezogenes Wissen wirkt jedoch in einem gewissen Maß auch negativ auf beobachtungsbezogene Lernaktivitäten.

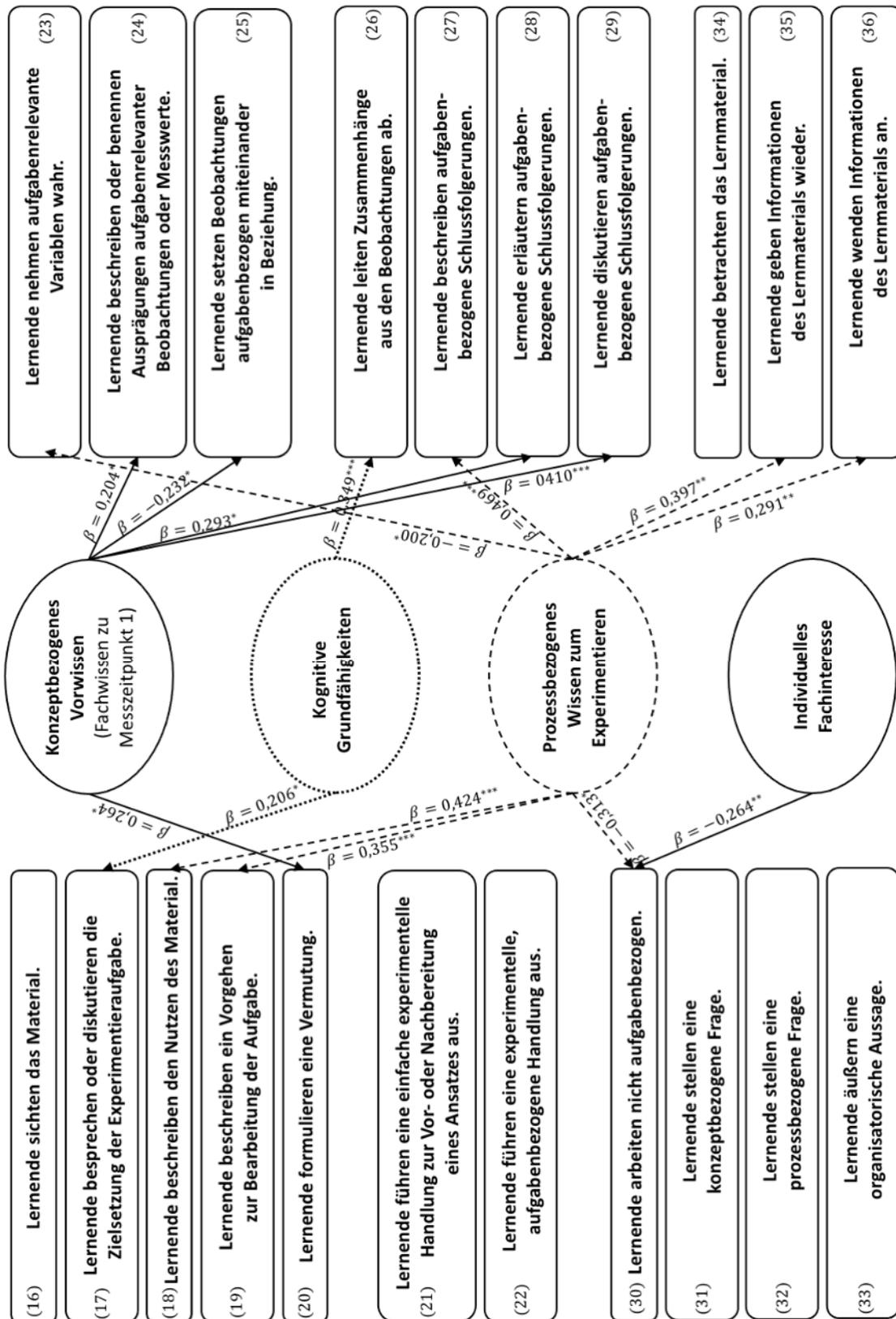


Abbildung 41: Einfluss individueller Lernvoraussetzungen auf individuelle Lerntätigkeiten

Individuelle Lerntätigkeiten und auftretende Schwierigkeiten

Die bisherigen Analysen belegen für eine Vielzahl an genutzten Lerntätigkeiten und einige Schwierigkeiten direkte Einflüsse individueller Lernvoraussetzungen. Vor allem aber in Bezug auftretender Schwierigkeiten im Experimentierprozess zeigt sich auch, dass individuelle Lernvoraussetzungen nicht für jede auftretende Schwierigkeit als relevante Bedingungsfaktoren wirken. Da Schwierigkeiten unmittelbar im Lernprozess auftreten, der im Wesentlichen durch die Anwendung gezielt ausgeübter Lerntätigkeiten geprägt wird, können auch von Wirkungszusammenhängen zwischen individuellen Lerntätigkeiten und auftretenden Schwierigkeiten ausgegangen werden. Um hierzu erste Hinweise zu gewinnen, wurden zunächst Korrelationsanalysen durchgeführt. Da hier intervallskaliertes Merkmal (individuelle Lerntätigkeiten) mit dichotomen Merkmalen (auftretende Schwierigkeiten) in Beziehung gesetzt werden, erfolgt die Angabe der Zusammenhänge über den punktbi-serialen Korrelationskoeffizienten. Zur besseren Übersichtlichkeit werden in Abbildung 42 (S. 144) als Ergebnisse der Korrelationsanalysen die Beträge der Korrelationskoeffizienten angegeben. Detaillierte Angaben zu den Vorzeichen der Korrelationskoeffizienten sind im Anhang zu finden.

Deutliche Zusammenhänge zeigen hinsichtlich auftretender Schwierigkeiten vor allem bei unsystematischen Untersuchungen, Fehlern bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge, Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten sowie bei einer unvollständigen Lösung der Aufgabe (vgl. Abbildung 42). Bei den genutzten Lerntätigkeiten liegen vor allem Zusammenhänge in Bezug auf eine experimentelle, aufgabenbezogene Handlung, der Wahrnehmung aufgabenrelevanter Variablen sowie einer Äußerung organisatorischer Aussagen und einem nicht aufgabenbezogenen Arbeiten vor. Für einen Großteil der Zusammenhänge zwischen Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten lassen sich eher kleinere Korrelationen finden.

IV Hauptstudie



Abbildung 42: Übersicht bestehender Korrelationen zwischen Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten

Zur Untersuchung der wechselseitigen Wirkungszusammenhänge zwischen individuellen Lerntätigkeiten und auftretenden Schwierigkeiten wurden lineare (individuelle Lerntätigkeiten als abhängige Variablen) und binär logistische (Auftreten von Schwierigkeiten als abhängige Variablen) Regressionsanalysen durchgeführt. Zur besseren Übersicht werden einseitige und eindeutige Wirkungszusammenhänge zwischen zwei Merkmalen in Form durchgängiger Pfeile dargestellt. Weisen die Ergebnisse der beiden Regressionsanalyse darauf hin, dass keine eindeutige Richtung vorliegt und beide Merkmale als gegenseitige Bedingungsfaktoren in Frage kommen, werden in der Darstellung nicht durchgezogene, beidseitige Pfeile genutzt, um die Wechselwirkung in Abgrenzung zu eindeutigen Wirkungszusammenhängen darzustellen.

Tabelle 54: Modellparameter zu den Wirkungszusammenhängen in Abbildung 43

Modell	Abhängige Variable	Modellparameter		
		R^2	χ^2	p
(37)	Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten.	0,515	48,451	< 0,001
(38)	Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge.	0,482	44,790	< 0,001
(39)	Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge.	0,095	5,865	0,015
(40)	Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial.	0,150	11,983	0,003
(41)	Fehlerhafte Lösung der Aufgabe.	0,406	33,739	< 0,001
(42)	Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler.	0,189	11,741	0,008
(43)	Unvollständige Lösung der Aufgabe.	0,524	50,144	< 0,001
(44)	Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial.	0,194	15,708	0,001
(45)	Unsystematische Untersuchungen.	0,370	32,342	< 0,001
(46)	Fehler beim Schlussfolgern.	0,188	15,127	0,001
(47)	Ungünstige Versuchsbedingungen.	0,187	14,934	0,002
(48)	Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung.	0,488	38,245	< 0,001

Modell	Abhängige Variable	Modellparameter		
		R^2	F	p
(49)	Lernende sichten das Material.	0,111	5,124	0,002
(50)	Lernende besprechen oder diskutieren die Zielsetzung der Experimentieraufgabe.	0	1,261	0,256
(51)	Lernende beschreiben den Nutzen des Materials.	0,030	4,097	0,046
(52)	Lernende beschreiben ein Vorgehen zur Bearbeitung der Experimentieraufgabe.	0	1,605	0,105
(53)	Lernende formulieren eine Vermutung.	0	0,862	0,588
(54)	Lernende führen eine einfache experimentelle Handlung zur Vor- und Nachbereitung eines Ansatzes aus.	0,112	7,266	0,001
(55)	Lernende führen eine experimentelle, aufgabenbezogene Handlung aus.	0,275	8,522	< 0,001
(56)	Lernende nehmen aufgabenrelevante Variablen wahr.	0,086	4,086	0,009
(57)	Lernende beschreiben oder benennen Ausprägungen aufgabenrelevanter Beobachtungen oder Messwerte.	0	0,753	0,696
(58)	Lernende setzen Beobachtungen aufgabenbezogen in Beziehung.	0,129	8,314	< 0,001
(59)	Lernende leiten Zusammenhänge aus den Beobachtungen ab.	0,116	7,516	0,001
(60)	Lernende beschreiben aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,148	5,287	0,001
(61)	Lernende erläutern aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,122	5,587	0,001
(62)	Lernende diskutieren aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,093	6,085	0,003
(63)	Lernende betrachten das Lernmaterial.	0,178	11,702	< 0,001
(64)	Lernende geben Informationen des Lernmaterials wieder.	0,034	4,520	0,036
(65)	Lernende wenden Informationen des Lernmaterials an.	0,059	7,178	0,009
(66)	Lernende arbeiten nicht aufgabenbezogen.	0,199	9,125	< 0,001
(67)	Lernende stellen eine konzeptbezogene Frage.	0,196	13,033	< 0,001
(68)	Lernende stellen eine prozessbezogene Frage.	0,154	10,027	< 0,001
(69)	Lernende äußern eine organisatorische Aussage.	0,438	20,298	< 0,001

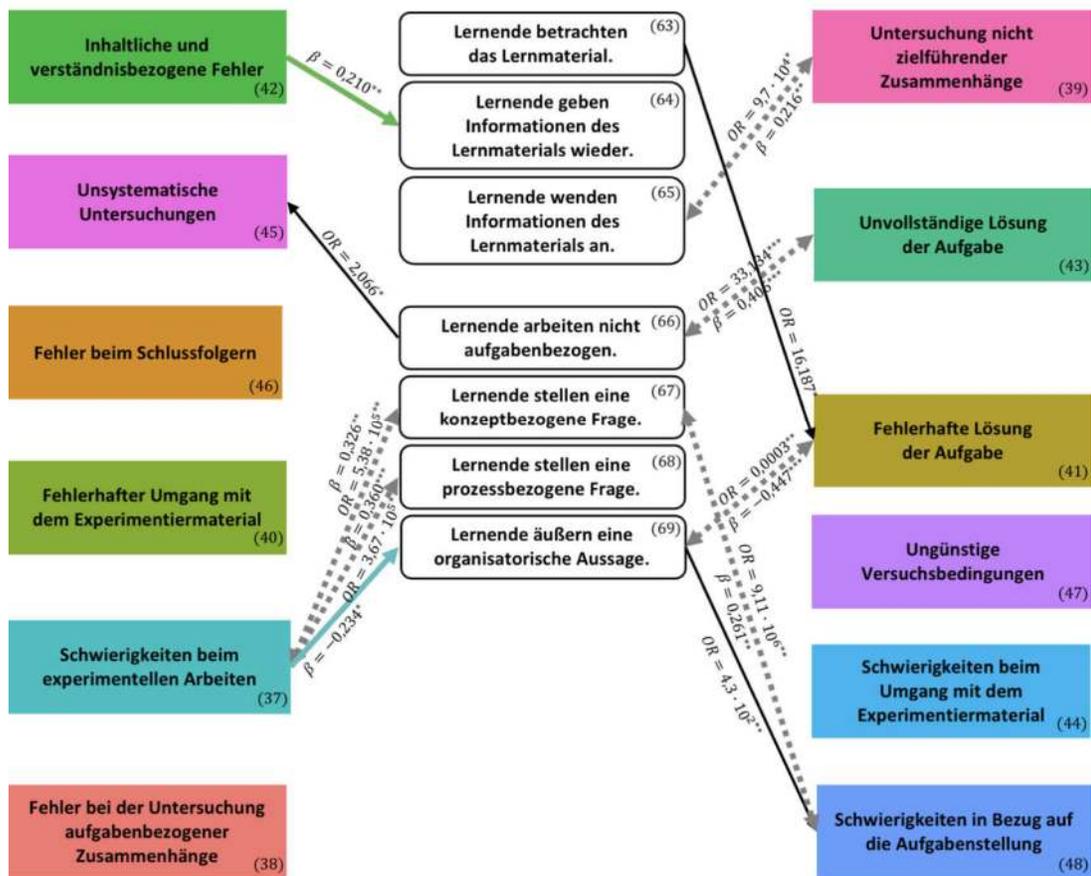


Abbildung 43 (Fortsetzung): Wechselwirkungen zwischen individuellen Lerntätigkeiten und auftretenden Schwierigkeiten

Für viele Zusammenhänge lassen sich keine eindeutigen Wirkungsrichtungen finden (vgl. Abbildung 43). Eher muss davon ausgegangen werden, dass sich viele Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten gegenseitig in ihrem Auftreten beeinflussen. Im Bereich planungsbezogener Lerntätigkeiten bestehen im Vergleich zu anderen Tätigkeitsbereichen nur wenige Zusammenhänge. Hier lassen sich vor allem Schwierigkeiten als Bedingungsfaktoren für die Nutzung von Lerntätigkeiten im Verlauf des Bearbeitungsprozesses identifizieren. Bei durchführungsbezogenen Lerntätigkeiten zeigen sich neben wechselseitigen Beziehungen zwischen Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten auch Einflüsse individueller Lerntätigkeiten auf das Auftreten von Schwierigkeiten. Vor allem das Ausführen experimentelle Handlungen kann dabei als Bedingungsfaktor für eher praktische Schwierigkeiten wie einem fehlerhaften Umgang mit dem Experimentiermaterial und Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten gesehen werden. Dabei tritt ein fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial eher durch eine intensive

experimentalpraktische Durchführung auf, während für Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten eher ein geringer Anteil experimentalpraktischer Durchführung am Bearbeitungsprozess die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten dieser Schwierigkeit erhöht.

Für Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge und eine unvollständige Lösung der Aufgabe kann die Wahrnehmung aufgabenrelevanter Variablen als wichtiger Faktor angesehen werden. Beide Schwierigkeiten treten vor allem auf bei Schülerinnen und Schülern, die statt einer Verbalisierung von Beobachtungen, diese ausschließlich unkommentiert wahrnehmen.

Bei auswertungsbezogenen Lerntätigkeiten spielen vor allem eine fehlerhafte Lösung der Aufgabe, inhaltliche und verständnisbezogene Fehler sowie Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung eine Rolle. Fehler bei der Lösung der Aufgabe wirken negativ auf das Ableiten von Zusammenhängen aus eigenen Beobachtungen, während inhaltliche und verständnisbezogene Fehler sowie Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung eher die Intensität in der Nutzung komplexer auswertungsbezogener Lerntätigkeiten steigern.

Für übergeordnete Lerntätigkeiten in Bezug auf die Nutzung des Informationsmaterials stellen vor allem inhaltliche und verständnisbezogene Fehler eine Rolle. Das Auftreten solcher Fehler führt dazu, dass die Lernenden längere Zeit damit verbringen, gegebene Informationen wiederzugeben. Für das nicht aufgabenbezogene Arbeiten lässt sich vor allem ein Einfluss auf das Auftreten unsystematischer Untersuchungen beobachten. Eine unvollständige Lösung der Aufgabe steht in einer wechselseitigen Beziehung zum nicht aufgabenbezogenen Arbeiten.

Grundsätzlich lassen sich die Beziehungen zwischen Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten in Bedingungsbeziehungen und wechselseitige Beziehungen weiter ausdifferenzieren (vgl. Tabelle 55). Bei Bedingungsbeziehungen ist entweder eine Schwierigkeit oder eine Lerntätigkeit ein direkter Bedingungsfaktor für ein anderes Merkmal. Wechselseitige Beziehungen liegen dann vor, wenn keine eindeutige Wirkrichtung ausgemacht werden kann, beide Merkmale aber unmittelbar zusammenhängen. Innerhalb der beiden Arten von Beziehungen können sowohl positive als auch negative Zusammenhänge auftreten. Bei positiven Zusammenhängen führt die Erhöhung eines Merkmals auch zu einer Erhöhung des anderen Merkmals. Bei negativen Zusammenhängen ist die Änderung entgegengesetzt.

Tabelle 55: Differenzierte Übersicht zu den gefundenen Beziehungen zwischen Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten

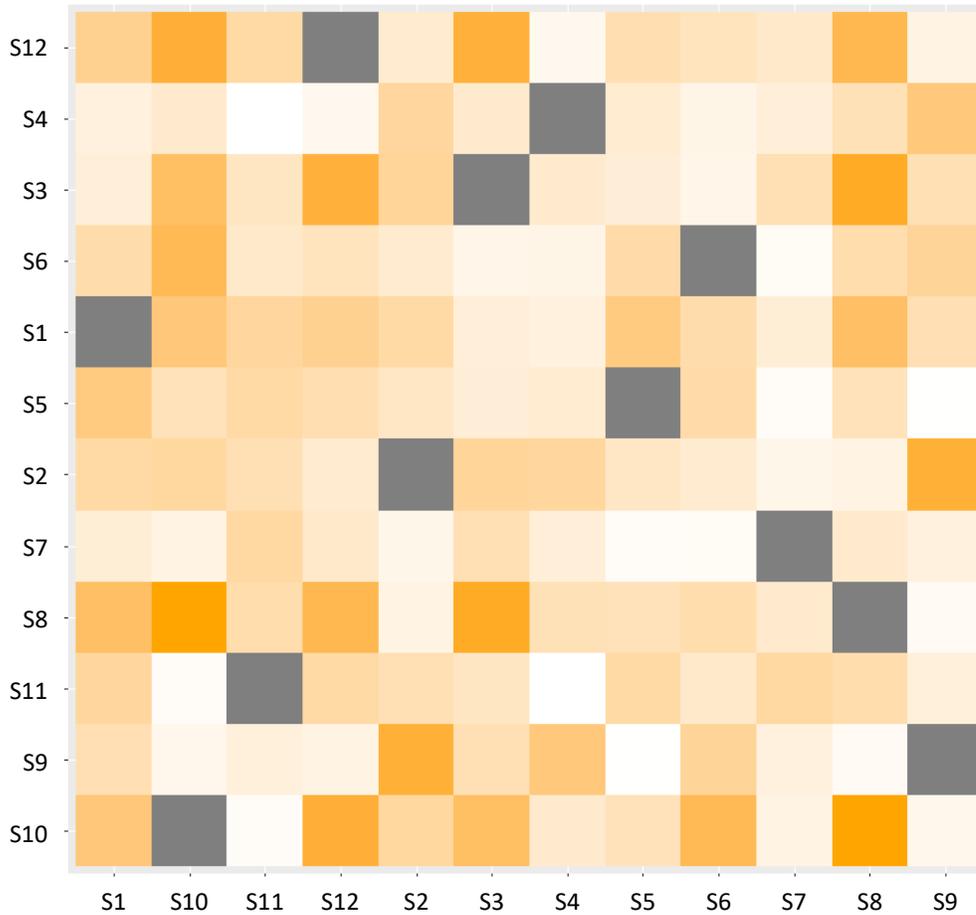
	Bedingungsbeziehungen		Wechselseitige Beziehungen
	Schwierigkeit	Lerntätigkeit	
Positiver Wirkzusammenhang	5	7	9
Negativer Wirkzusammenhang	5	1	4

Schwierigkeiten machen in zehn Fällen Bedingungsfaktoren für die Häufigkeit in der Nutzung einer Lerntätigkeit aus. Diese lassen sich auf sieben unterschiedliche Schwierigkeiten zurückführen. Während bei den Schwierigkeiten positive und negative Wirkungszusammenhänge in gleicher Anzahl vorliegen, finden sich bei Lerntätigkeiten als Bedingungsfaktoren deutlich mehr positive als negative Wirkungszusammenhänge. Diese beziehen sich auf fünf unterschiedliche Lerntätigkeiten. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den wechselseitigen Beziehungen, die etwa die Hälfte aller beobachtbaren Zusammenhänge ausmachen.

Abhängigkeiten zwischen auftretenden Schwierigkeiten

Die Analysen im vorangegangenen Abschnitt zeigen, dass sich im Bearbeitungsprozess Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten in ihrem Auftreten gegenseitig bedingen können. Es kann also davon ausgegangen werden, dass sich auch Schwierigkeiten untereinander in ihrem Auftreten bedingen können. Um dies zu untersuchen, wurden zunächst mögliche Beziehungen im Rahmen von Korrelationsanalysen geprüft. Die Angabe über die Korrelationen zwischen dem Auftreten von Schwierigkeiten erfolgt aufgrund des Skalenniveaus über den Phi-Koeffizienten.

Die Ergebnisse der Korrelationsanalysen (Abbildung 44) zeigen, dass das Auftreten einiger beobachtbare Schwierigkeiten beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben zusammenhängt.



- φ
- 0,5
 - 0,4
 - 0,3
 - 0,2
 - 0,1
- S1 Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung.
 - S2 Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten.
 - S3 Unsystematische Untersuchungen.
 - S4 Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge.
 - S5 Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial.
 - S6 Ungünstige Versuchsbedingungen.
 - S7 Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler.
 - S8 Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial.
 - S9 Fehler beim Schlussfolgern.
 - S10 Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge.
 - S11 Fehlerhafte Lösung der Aufgabe.
 - S12 Unvollständige Lösung der Aufgabe.

Abbildung 44: Übersicht bestehender Korrelationen unter auftretenden Schwierigkeiten

Zur Prüfung der Abhängigkeiten zwischen den auftretenden Schwierigkeiten wurde für jede auftretende Schwierigkeit als abhängige Variable eine logistische Regressionsanalyse durchgeführt. Dabei können für die zwölf verschiedenen Schwierigkeiten unterschiedlich große Anteile an der Varianz im Auftreten aufgeklärt werden (vgl. Tabelle 56). Für alle Modelle liegen die Modellparameter in akzeptablen Bereichen, sodass von einer hinreichend genauen Modellierung der Zusammenhänge ausgegangen werden kann.

Als einen zentralen Bedingungsfaktor für das Auftreten bestimmter Schwierigkeiten stellen sich Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge dar (Abbildung 45). Auch eine fehlerhafte Lösung der Aufgabe sowie Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung können als bedeutsame Bedingungsfaktoren für das Auftreten von Schwierigkeiten angesehen werden. Für inhaltliche und verständnisbezogene Fehler ergeben sich keine statistisch bedeutsamen Beziehungen zu anderen Schwierigkeiten. Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial und eine unvollständige Lösung der Aufgabe werden hingegen ausschließlich von anderen Schwierigkeiten beeinflusst und stellen selber keine Bedingungsfaktoren dar.

Tabelle 56: Modellparameter zu den Wirkungszusammenhängen in Abbildung 45

Modell	Abhängige Variable	Modellparameter		
		R^2	χ^2	p
(70)	Ungünstige Versuchsbedingungen	0,318	27,109	< 0,001
(71)	Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	0,584	58,186	< 0,001
(72)	Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	0,196	12,514	0,002
(73)	Fehler beim Schlussfolgern	0,381	33,948	< 0,001
(74)	Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	0,179	14,543	0,002
(75)	Unvollständige Lösung der Aufgabe	0,634	51,508	< 0,001
(76)	Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	0,420	37,934	< 0,001
(77)	Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung	0,503	39,982	< 0,001
(78)	Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	0,218	16,845	0,005
(79)	Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	0,104	6,292	0,012
(80)	Unsystematische Untersuchungen	0,500	47,333	< 0,001
(81)	Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	0,542	52,674	< 0,001

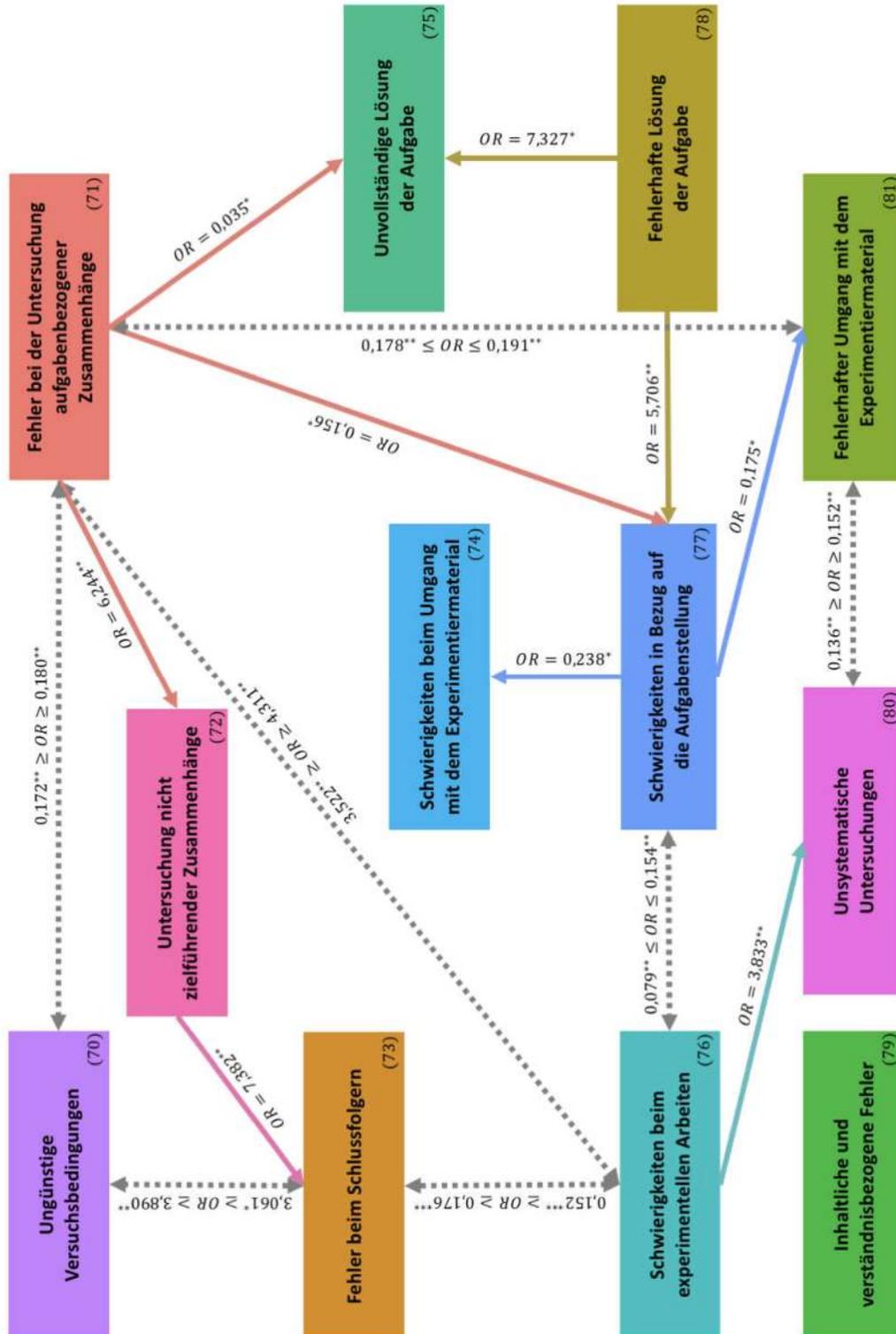


Abbildung 45: Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Schwierigkeiten im Experimentierprozess

Bei den Zusammenhängen zwischen verschiedenen Schwierigkeiten lassen sich Bedingungsbeziehungen und wechselseitige Beziehungen unterscheiden. Während bei einem Bedingungsbeziehungen Zusammenhang eine Schwierigkeit ein Bedingungsfaktor für das Auftreten einer anderen Schwierigkeit ist, muss bei wechselseitigen Beziehungen von ausgegangen werden, dass sich zwei Schwierigkeiten gegenseitig in ihrem Auftreten beeinflussen (vgl. Tabelle 57). Ein positiver Wirkungszusammenhang zeigt an, dass durch das Auftreten einer Schwierigkeit die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Schwierigkeit erhöht wird. Bei negativen Wirkungszusammenhängen führt das Auftreten einer Schwierigkeit zu einer Verringerung der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer anderen Schwierigkeit.

Eine fehlerhafte Lösung der Aufgabe, die Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge sowie Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten stellen Schwierigkeiten dar, die positiv auf das Auftreten anderer Schwierigkeiten wirken. Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge hingegen sind mehrheitlich für negative Wirkungszusammenhänge verantwortlich. Bei wechselseitigen Beziehungen zeigen sich positive Wirkungszusammenhänge nur zwischen Fehlern bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge, ungünstigen Versuchsbedingungen sowie Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten.

Tabelle 57: Differenzierte Übersicht zu den gefundenen Beziehungen zwischen verschiedenen Schwierigkeiten

	Bedingungsbeziehungen	Wechselseitige Beziehungen
Positiver Wirkungszusammenhang	5	2
Negativer Wirkungszusammenhang	4	5

Insgesamt lassen sich mehr eindeutige Bedingungsbeziehungen beobachten als wechselseitige Beziehungen. Dabei lassen sich fünf Schwierigkeiten als Bedingungsfaktoren für das Auftreten anderer Schwierigkeiten identifizieren: Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung, Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten, Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge, Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge sowie eine fehlerhafte Lösung der Aufgabe.

IV.3.5 Vertiefende Analysen

Die bisherigen Analysen zeigen, dass individuelle Lernvoraussetzungen ($R^2 = 0,305$), Lerntätigkeiten ($R^2 = 0,353$) und Schwierigkeiten ($R^2 = 0,286$) in ähnlich hohem Maß die Varianz beim individuellen Lernerfolg aufklären können. Da einer Gestaltung von Unterstützungs- und Förderangeboten beim Experimentieren häufig auftretende Schwierigkeiten zugrunde gelegt werden (vgl. u.a. Wahser, 2007), tragen vor allem differenzierte Erkenntnisse über das Auftreten von Schwierigkeiten zur Klärung spezifischer Unterstützungsbedarfe von Schülerinnen und Schülern bei. Daher wird im Folgenden näher untersucht, inwieweit Schwierigkeiten systematisch in Abhängigkeit bestimmter Merkmale auftreten. Dazu werden sowohl lernendenbezogene als auch lernmaterialbezogene Merkmale in den Blick genommen.

Differentielle Effekte in Bezug auf unterschiedliche Leistungsgruppen

Während die vorangegangenen Analysen nur Erkenntnisse auf den Lernerfolg auf globaler Ebene ermöglichen, liefert die graphische Zuordnung des konzeptbezogenen Fachwissens zu den beiden Messzeitpunkten auf individueller Ebene einen ersten Blick auf den individuellen Lernerfolg einzelner Schülerinnen und Schüler (Abbildung 46). Zusätzlich werden Referenzlinien für den absoluten (gestrichelte Linie) und residualen Lernzuwachs (durchgezogene Linie) herangezogen: Die Trendlinie für den absoluten Lernerfolg entspricht einer proportionalen Zuordnung des Fachwissens zu den Messzeitpunkten 1 und 3, sodass sich als Grenzwert für den Lernerfolg ein Wert von 0 ergibt. Dies ist der Fall, wenn ein Lernender zu Messzeitpunkt 3 über die gleiche Personenfähigkeit verfügt wie zu Messzeitpunkt 1. Der Zusammenhang im konzeptbezogenen Fachwissen kann auch als Grundlage für eine lineare Regression genutzt werden. Hierbei ergibt sich der residuale Lernzuwachs als Differenz zwischen der ermittelten Personenfähigkeit einer Person zu Messzeitpunkt 3 und dem erwarteten Wert auf der Grundlage der Personenfähigkeit zu Messzeitpunkt 1. Damit stellt der residuale Lernzuwachs ein eher konservatives Maß für die Beurteilung des Lernerfolgs dar.

Insgesamt zeigen die Analysen, dass ein großer Teil der Lernenden einen positiven Lernerfolg zu verzeichnen hat (grüner und gelber Bereich). Ein Teil dieser Lernenden liegt sogar über dem zu erwartenden Lernerfolg im Vergleich zur Gesamtstichprobe (grüner Bereich). Für einen anderen Teil der Stichprobe lässt sich hingegen eine gesamtheitlich negative Entwicklung beobachten (roter Bereich).

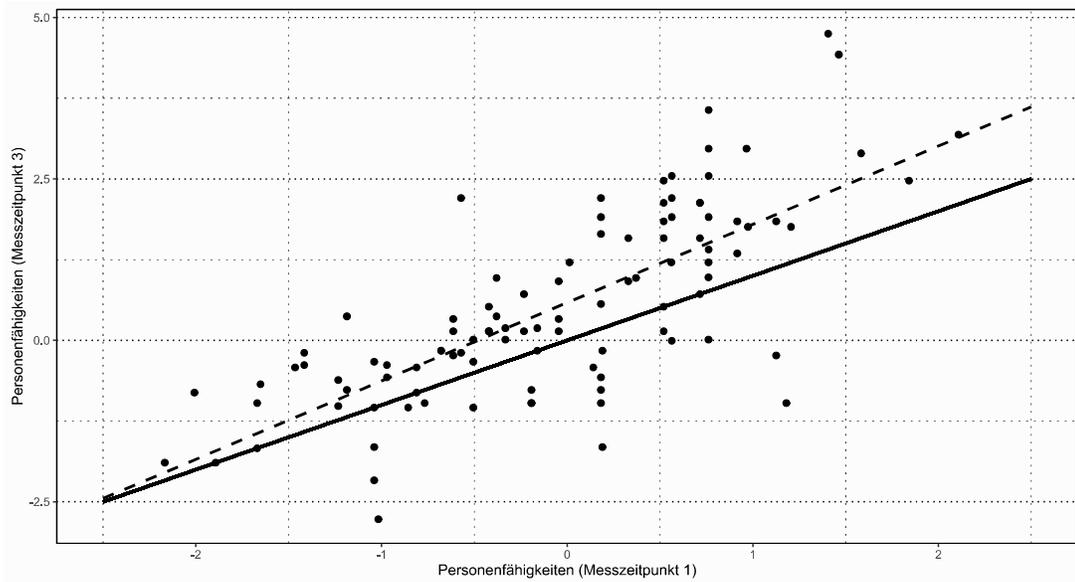


Abbildung 46: Differenzierung unterschiedlicher Leistungsprofile über den proportionalen und residualen Zusammenhang zwischen dem konzeptbezogenen Fachwissen zu Messzeitpunkt 1 und Messzeitpunkt 3

Allgemein lassen sich alle Lernenden ausgehend vom absoluten und residualen Lernerfolg drei Leistungsgruppen zuordnen (vgl. Tabelle 58). Lernende mit negativem absoluten und positiven residualen Lernzuwachs sind in der Stichprobe nicht zu finden.

Tabelle 58: Bildung von Leistungsgruppen auf der Grundlage des absoluten und residualen Lernerfolgs

	Individueller Lernerfolg			
	<i>absolut</i>		<i>residual</i>	
	negativ	positiv	negativ	positiv
Leistungsgruppe 1	X		X	
Leistungsgruppe 2		X	X	
Leistungsgruppe 3		X		X

Mit Blick auf die Verteilung der Leistungsgruppen auf die untersuchten Schultypen zeigt sich ein für die nichtgymnasialen Lerngruppen eher ungünstiges Bild (vgl. Tabelle 59). Hier liegen 40,68 % der Schülerinnen und Schüler im unteren Leistungsbereich, während bei den Schülerinnen und Schülern am Gymnasium nur 7,14 % zu Leistungsgruppe 1 gehören.

IV Hauptstudie

Tabelle 59: Verteilung der Schülerinnen und Schüler unterschiedlicher Leistungsgruppen auf verschiedene Schultypen

Schultyp		Anzahl in den Leistungsgruppen			Stichprobe
		Leistungsgruppe 1	Leistungsgruppe 2	Leistungsgruppe 3	
Nicht-gymnasial	Hauptschule	11	4	14	29
	Realschule	10	8	12	30
	Gesamt	21	12	26	59
Gymnasial		3	10	29	42
Stichprobe		24	22	55	101

Hinsichtlich der individuellen Lernvoraussetzungen zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Leistungsgruppen (vgl. Tabelle 60).

Tabelle 60: Ausprägungen der individuellen Lernvoraussetzungen innerhalb der Leistungsgruppen

Individuelle Lernvoraussetzung	Mittelwert (Standardabweichung)			Statistischer Unterschied	
	Leistungsgruppe 1	Leistungsgruppe 2	Leistungsgruppe 3	<i>F</i> (2, 98)	<i>p</i>
Konzeptbezogenes Wissen zu Messzeitpunkt 1	-0.22 (0.81)	0.22 (0.76)	-0.10 (0.97)	0.04	0,837
Kognitive Grundfähigkeiten	-0.92 (1.28)	0.20 (0.93)	0.31 (1.23)	15.66	≤ 0,001
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	-0.83 (1.01)	0.06 (0.83)	0.46 (1.53)	15.88	≤ 0,001
Individuelles Fachinteresse	0.06 (1.25)	-0.21 (1.73)	0.23 (1.66)	0.39	0,533

Hinsichtlich der verfügbaren Lernvoraussetzungen unterscheiden sich Schülerinnen und Schüler der verschiedenen Leistungsgruppen systematisch nur in Bezug auf die kognitiven Grundfähigkeiten und das prozessbezogene Wissen zum Experimentieren. Hier zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den Leistungsgruppen. Keine statistisch bedeutsamen Unterschiede finden sich für das konzeptbezogene Vorwissen sowie das individuelle Fachinteresse. Deskriptiv deuten die Daten aber darauf hin, dass gerade Lernende aus Leistungsgruppe 1 über weniger

Vorwissen verfügen als Lernende aus anderen Leistungsgruppen. Dennoch sind Lernende aus Leistungsgruppe erfreulicherweise nicht weniger am Fach interessiert als andere Lernende.

Zur weiteren Charakterisierung der Leistungsgruppen wurde das Auftreten von Schwierigkeiten vergleichend untersucht. Dazu wurde das Auftreten unterschiedlicher Schwierigkeiten und die Zugehörigkeit zu einer Leistungsgruppe mit Hilfe von χ^2 – Tests auf Unabhängigkeit untersucht. Die Leistungsgruppen unterscheiden sich dabei nicht in der Anzahl unterschiedlicher Schwierigkeiten ($\chi^2(2) = 3.314, p = 0.191$), sondern in dem spezifischen Auftreten verschiedener Schwierigkeiten (vgl. Tabelle 61).

Tabelle 61: Auftreten unterschiedlicher Schwierigkeiten innerhalb der Leistungsgruppen

Schwierigkeit	Relative Häufigkeit an Lernenden mit der Schwierigkeit (in %)			Statistischer Unterschied	
	Leistungsgruppe 1	Leistungsgruppe 2	Leistungsgruppe 3	$\chi^2(2)$	p
Schwierigkeiten in Bezug auf die Zielsetzung der Aufgabenstellung	41,67	18,18	14,54	7,428	0,024
Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	58,33	36,36	40,00	2,877	0,237
Unsystematische Untersuchungen	45,83	59,09	40,00	2,310	0,315
Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	4,17	36,36	14,55	8,951	0,011
Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	58,33	59,09	49,09	0,931	0,628
Ungünstige Versuchsbedingungen	37,50	45,45	40,00	0,319	0,853
Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	12,50	13,64	18,18	0,507	0,776
Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	45,83	59,09	50,91	0,824	0,662
Fehler beim Schlussfolgern	70,83	36,36	40,00	7,554	0,023
Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	45,83	68,18	47,27	3,153	0,207

Tabelle 61 (Fortsetzung): Auftreten unterschiedlicher Schwierigkeiten innerhalb der Leistungsgruppen

Schwierigkeit	Relative Häufigkeit an Lernenden mit der Schwierigkeit (in %)			Statistischer Unterschied	
	Leistungsgruppe 1	Leistungsgruppe 2	Leistungsgruppe 3	$\chi^2(2)$	p
Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	54,17	68,18	78,18	4,675	0,097
unvollständige Lösung der Aufgabe	95,83	90,91	69,09	9,556	0,008

Schülerinnen und Schüler in Leistungsgruppe 1 haben häufiger Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung, beim experimentellen Arbeiten und machen häufiger Fehler beim Schlussfolgern. Insgesamt ist der Lernprozess von Schülerinnen und Schülern aus Leistungsgruppe 1 stärker von einer unvollständigen Lösung der Aufgabe gekennzeichnet.

Schülerinnen und Schüler aus Leistungsgruppe 2 haben hingegen eher Schwierigkeiten hinsichtlich unsystematischer Untersuchungen, der Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge und machen häufiger Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge. Schülerinnen und Schüler aus Leistungsgruppe 3 machen vergleichsweise häufiger inhaltliche und verständnisbezogener Fehler und sind stärker von einer fehlerhaften Lösung der Aufgabe betroffen.

Abschließend wird für die einzelnen Leistungsgruppen die Bedeutsamkeit der Schwierigkeiten für den individuellen Lernerfolg mit Hilfe linearer Regressionsanalysen untersucht. Einschränkend muss berücksichtigt werden, dass für Analysen in den Leistungsgruppen 1 und 2 nur kleine Stichproben zur Verfügung stehen. Die Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Leistungsgruppen. Für Schülerinnen und Schüler aus Leistungsgruppe 1 sind andere Schwierigkeiten lernrelevant als für Schülerinnen und Schüler aus den Leistungsgruppen 2 und 3 (vgl. Tabelle 62). Insgesamt lässt sich bei Schülerinnen und Schülern in Leistungsgruppe 3 ein größerer Anteil an Varianz im individuellen Lernerfolg durch einzelne Schwierigkeiten aufklären, als es bei den anderen Leistungsgruppen der Fall ist. Besonders in Leistungsgruppe 1 wirken sich die Schwierigkeiten nur in geringem Maß auf den individuellen Lernerfolg aus, obwohl gerade in dieser Leistungsgruppe Schwierigkeiten zu einem hohen Anteil in den Bearbeitungsphasen der Experimentieraufgaben auftreten.

Tabelle 62: Differenzierte Bedeutsamkeit von Schwierigkeiten für den individuellen Lernerfolg unterschiedlicher Leistungsgruppen

Schwierigkeit	Regressionskoeffizienten β		
	Leistungsgruppe 1	Leistungsgruppe 2	Leistungsgruppe 3
Schwierigkeiten in Bezug auf die Zielsetzung der Aufgabenstellung	-0,582	-	-
Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	-	-	-
Unsystematische Untersuchungen	-	-0,539	-
Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	-	-	-
Ungünstige Versuchsbedingungen	-	-	-
Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	-	-	-
Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	-	-	-0,775
Fehler beim Schlussfolgern	-	-	-
Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	0,669	-	-
Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	-	-	-
unvollständige Lösung der Aufgabe	-	-	-0,446
Modellparameter	$F(2, 21) = 2,674$ $p = 0,092$ $R^2 = 0,127$	$F(1, 21) = 8,178$ $p = 0,010$ $R^2 = 0,255$	$F(2,52) = 25,298$ $p < 0,001$ $R^2 = 0,474$

Differentielle Effekte in Bezug auf unterschiedliche Lerngegenstände

Um zunächst die Vergleichbarkeit der drei Lernumgebungen hinsichtlich der bearbeitenden Schülerinnen und Schüler zu überprüfen, wurden die Ausprägungen in den individuellen Lernvoraussetzungen der Lernenden mit Hilfe einfaktorieller Varianzanalysen miteinander verglichen (vgl. Tabelle 63). Zwischen den drei eingesetzten Lernumgebungen lassen sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der individuellen Lernvoraussetzungen finden.

IV Hauptstudie

Tabelle 63: Ausprägungen individueller Lernvoraussetzungen von Schülerinnen und Schüler in Abhängigkeit der bearbeiteten Lernumgebung

Individuelle Lernvoraussetzung	Mittelwert (Standardabweichung)			Statistischer Unterschied	
	Batterien	Ozeanversauerung	Trinkwasser	$F(2, 98)$	p
Konzeptbezogenes Wissen zu Messzeitpunkt 1	0,054	-0,069	-0,200	0,634	0,533
Kognitive Grundfähigkeiten	0,049	0,019	-0,107	0,124	0,883
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,128	0,041	0,066	0,060	0,942
Individuelles Fachinteressen	-0,107	0,555	-0,231	2,492	0,088

In einem weiterführenden Schritt wurden das Auftreten unterschiedlicher Schwierigkeiten und die inhaltlichen Ausrichtungen der Lernumgebungen mit Hilfe von Chi^2 – Tests auf statistische Abhängigkeit untersucht (vgl. Tabelle 64).

Tabelle 64: Auftreten unterschiedlicher Schwierigkeiten innerhalb der Lernumgebungen

Schwierigkeit	Relative Häufigkeit an Lernenden mit der Schwierigkeit (in %)			Statistischer Unterschied	
	Batterien	Ozeanversauerung	Trinkwasser	$\chi^2(2)$	p
Schwierigkeiten in Bezug auf die Zielsetzung der Aufgabenstellung	0,00	33,33	35,74	16,313	$\leq 0,001$
Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	0,00	44,44	100,00	64,845	$\leq 0,001$
Unsystematische Untersuchungen	64,86	38,89	28,57	9,464	0,009
Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	32,43	5,56	10,71	10,451	0,005
Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	40,54	63,89	57,14	4,209	0,122
Ungünstige Versuchsbedingungen	48,65	41,57	28,57	2,691	0,260
Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	24,32	2,28	21,43	7,261	0,027
Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	54,05	47,22	53,57	0,408	0,815

Tabelle 64 (Fortsetzung): Auftreten unterschiedlicher Schwierigkeiten innerhalb der Lernumgebungen

Schwierigkeit	Relative Häufigkeit an Lernenden mit der Schwierigkeit (in %)			Statistischer Unterschied	
	Batterien	Ozeanversauerung	Trinkwasser	$\chi^2(2)$	p
Fehler beim Schlussfolgern	16,22	44,44	89,29	34,302	$\leq 0,001$
Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	72,97	30,56	50,00	13,178	0,001
Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	86,49	30,56	100,00	43,706	$\leq 0,001$
Unvollständige Lösung der Aufgabe	89,19	66,67	85,71	6,578	0,037
Gesamtanzahl (absolut)	196	162	185		

Für neun der zwölf auftretenden Schwierigkeiten lassen sich statistisch bedeutende Unterschiede zwischen den Lernumgebungen finden. In der Lernumgebung zum Thema Batterien lassen sich im Vergleich zu den anderen Lernumgebungen keine Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung sowie beim experimentellen Arbeiten beobachten. Ebenso machen die Lernenden in der Lernumgebung zum Thema Batterien weniger Fehler beim Schlussfolgern als in den anderen Lernumgebungen. Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten treten in allen untersuchten Lernprozessen zum Thema Trinkwasser auf. Gleiches gilt für eine fehlerhafte Lösung der Aufgabe. In Bezug auf eine Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge sowie inhaltliche und verständnisbezogene Fehler zeigen sich für die Lernumgebung zum Thema Ozeanversauerung im Vergleich zu den anderen Themen nur geringe Ausprägungen. Auch inhaltliche und verständnisbezogene Fehler sowie eine fehlerhafte Lösung der Aufgabe sind weniger häufig bei Schülerinnen und Schülern zu beobachten, die an der Lernumgebung zum Thema Ozeanversauerung gearbeitet haben.

IV.4 Abschließende Diskussion der Hauptstudie

In der Diskussion werden sowohl inhaltliche als auch methodologische Bezugsnormen zur Einordnung der Ergebnisse, zur Interpretation und Einordnung der Ergebnisse herangezogen.

IV.4.1 Erläuterung und Einordnung zentraler Ergebnisse

Die Ergebnisse der Hauptstudie lassen im Wesentlichen Rückschlüsse auf Einflussfaktoren auf den individuellen Lernerfolg und auf Wirkungszusammenhänge zwischen lernrelevanten Merkmalen im Lernprozess beim Lernen kooperativen Experimentieraufgaben zu. Dabei bestätigt sich vor allem die gleichwertige Bedeutung individueller Lernvoraussetzungen, die Nutzung von Lerntätigkeiten sowie das Auftreten von Schwierigkeiten für den Lernerfolg im Sinne des Angebot-Nutzungs-Modells zur Unterrichtsqualität (vgl. Helmke, 2014).

Bei den individuellen Lernvoraussetzungen zeigen die Ergebnisse der Hauptstudie besonders die Relevanz kognitiver Fähigkeiten und des prozessbezogenen Wissens zum Experimentieren, was für experimentbasiertes Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht bereits gezeigt werden konnte (vgl. Stender, Schwichow & Härtig, 2018). Auffällig ist der negative Einfluss des konzeptbezogenen Vorwissens für den individuellen Lernerfolg. Dieser Zusammenhang wird auch als Expertise Reversal Effect beschrieben (Kalyuga, Ayres, Chandler, & Sweller, 2003). Der negative Einfluss des konzeptbezogenen Vorwissens auf den Lernerfolg kann damit erklärt werden, dass Lernende mit hohem Vorwissen bereits über Wissensstrukturen verfügen und durch die redundante Verarbeitung dieser Informationen im Rahmen des Lernprozesses kognitiv stärker belastet werden als Lernende mit geringem Vorwissen. Darüber hinaus ist es denkbar, dass es für Schülerinnen und Schüler mit hohem konzeptbezogenem Vorwissen schwieriger ist, mit diesem Wissen im Lernprozess konstruktiv umzugehen und in geeigneter Weise in den Lernprozess einzubringen. Hier sind vor allem Widersprüche denkbar, die sich für die Lernenden als Diskrepanz zwischen dem verfügbaren konzeptbezogenen Vorwissen und den neuen Erkenntnissen aus der Bearbeitung der Lernaufgaben ergeben. Hinweise hierzu liefern die Ergebnisse zum Auftreten von Schwierigkeiten in Abhängigkeit der Leistungsgruppen: Leistungsstarke Schülerinnen und Schüler machen mehr inhaltliche und konzeptbezogene Fehler und sind stärker von Fehlern in der Lösung der Aufgabe betroffen.

Bei den Prozessmerkmalen lässt sich nur für einzelne Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten eine Bedeutsamkeit für erfolgreiches Lernen ausmachen. Bei den Lerntätigkeiten sind es vor allem konkrete, auf die Planung einer aufgabenbezogenen Planungsstrategie sowie auswertungsbezogene Lerntätigkeiten. Für das reine Beobachten lässt sich ein negativer Einfluss beobachten, der damit zu erklären ist, dass ein zu hoher Anteil reinen Beobachtens im Bearbeitungsprozess die verfügbare Lernzeit verringert und dadurch für Lerntätigkeiten, die wichtig für das Ableiten von Erkenntnissen in Bezug auf die Lösung der Experimentieraufgabe sind (vgl.

Schulz, 2010), weniger Zeit zur Verfügung steht. Bei Schwierigkeiten, die sich auf den Lernerfolg auswirken, zeigen sich durchgängig negative Wirkrichtungen, was den Erwartungen in Bezug auf das Auftreten von Schwierigkeiten beim Lernen allgemein entspricht (vgl. Heimlich, 2016). Eine zunehmende Intensität im Auftreten einer Schwierigkeit führt zu stärkeren Problemen in der Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand, was letztlich zu einem geringeren Lernergebnis führt.

Neben dem individuellen Lernerfolg wirken individuelle Lernvoraussetzungen auch auf die Nutzung von Lerntätigkeiten und das Auftreten von Schwierigkeiten. Dabei zeigen sich mehrheitlich zu erwartende Wirkrichtungen. Damit können bisher eher qualitativ begründete Aussagen zum Auftreten von Schwierigkeiten, dass endogene Einflussfaktoren im kognitiven Bereich ursächlich für Schwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren sind (Kechel, 2016), weitestgehend durch die Ergebnisse der Hauptstudie quantitativ bestätigt werden. Für Lerntätigkeiten lässt sich das aus positiven Regressionskoeffizienten ($\beta > 0$) und bei Schwierigkeiten aus kleinen Chancenverhältnisse (*Odd's Ratio* < 1) ableiten. Mit zunehmend stärker verfügbaren individuellen Lernvoraussetzungen werden viele aufgabenbezogene Lerntätigkeiten stärker genutzt und ein Teil der Schwierigkeiten tritt weniger häufig auf. Da insbesondere die Lerntätigkeiten aber auch ein großer Teil der Schwierigkeiten in unmittelbarem Zusammenhang zur Strukturierung des Experimentierprozesses stehen (vgl. Kapitel I.1.2), lässt sich hier auch der besonders große Einfluss des prozessbezogenen Wissens zum Experimentieren erklären. Negative Wirkungszusammenhänge bestehen vor allem in Bezug auf beobachtungsbezogene Lerntätigkeiten. Lernende, die einen Großteil des Experimentierens mit dem Beobachten verbringen, wenden entsprechend weniger Zeit auf andere stärker zielführende Lerntätigkeiten wie das Planen oder Schlussfolgern (vgl. Schulz, 2010) auf.

Zwischen den Prozessmerkmalen deuten die Ergebnisse auf komplexe Zusammenhänge hin, was insbesondere für das Auftreten von Schwierigkeiten den aktuellen Forschungserkenntnissen entspricht (vgl. u. a. Heimlich, 2016; Kechel, 2016). Die Komplexität drückt sich dabei sowohl hinsichtlich bestehender Beziehungen als auch unterschiedlicher Wirkrichtungen aus. Für einen Teil der Schwierigkeiten lassen sich negative Einflüsse auf aufgabenbezogene Lerntätigkeiten beobachten, die als Indikator für erschwerte Lernsituationen zu deuten sind. Das Auftreten dieser Schwierigkeiten sorgt dafür, dass Lernende bestimmte Schritte im Experimentierprozess nicht oder nur in reduziertem Umfang durchlaufen und dadurch letztlich bei einer zielorientierten Bearbeitung der Experimentieraufgabe eingeschränkt werden. Das wird unter anderem für Schwierigkeiten in der Nutzung von zur Verfügung stehenden Experimentiermaterialien in Bezug auf die Schwierigkeit von

Experimentieraufgaben diskutiert (Boyer, Stender & Härtig, 2022). Für andere Schwierigkeiten deuten die Ergebnisse der Hauptstudie darauf hin, dass Schwierigkeiten auch die Nutzung aufgabenbezogener Lerntätigkeiten anregen können. Die Schwierigkeiten führen unmittelbar zu einer erschwerten Lernsituation, die von Schülerinnen und Schülern offenbar auch so wahrgenommen werden, ähnlich eines kognitiven Konflikts (u. a. Bader & Lühken, 2018). Dies könnte möglicherweise die Ursache dafür sein, dass Schülerinnen und Schüler bestimmte Lerntätigkeiten als Strategie zur Bewältigung der erschwerten Lernsituation heranziehen. Einschränkung ist dabei zu berücksichtigen, dass nur das konzeptbezogene und das prozessbezogene Vorwissen sowie die kognitiven Grundfähigkeiten und das individuelle Fachinteresse als individuelle Lernvoraussetzungen in die Analysen einbezogen wurden. Dies erklärt die für einzelne Schwierigkeiten unzureichende Klärung von Ursachen für das Auftreten. Für einige Schwierigkeiten wie ein fehlendes Aufgabenverständnis, inhaltliche und verständnisbezogene Fehler oder Fehler beim Schlussfolgern kann von einem Einfluss der verfügbaren sprachlichen Kompetenzen ausgegangen werden, deren Einfluss auf das fachliche Lernen bereits empirisch belegt ist (u. a. Henschel, et al., 2019; Busch & Ralle, 2013; Deppner, 1989). Ein Erklärungsansatz dafür, dass sich einige Schwierigkeiten wie Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten, eine Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge sowie ungünstige Versuchsbedingungen nicht durch die berücksichtigten Lernvoraussetzungen voraussagen lassen, findet sich in der Konzeptualisierung des prozessbezogenen Wissens. Im eingesetzten Test werden Kompetenzen zu naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen über die Beurteilung der Passung zwischen verschiedenen Phasen des Experimentierens operationalisiert (Mannel, 2011; Koenen, 2014). Vielmehr deuten die genannten Schwierigkeiten daraufhin, dass innerhalb einer einzelnen Phase Probleme im epistemischen Verständnis auftreten. Hier wäre eine ausdifferenziertere Konzeptualisierung des prozessbezogenen Wissens notwendig, das stärker epistemische Aspekte (vgl. Brockmüller & Ropohl, 2021) berücksichtigt. Dass inhaltliche und verständnisbezogene Fehler sich nicht durch leistungsbezogene Lernvoraussetzungen erklären lassen, hängt ebenfalls unmittelbar mit der Konzeptualisierung des Konstrukts zusammen. Während sich inhaltliche und verständnisbezogene Fehler immer auf ein konkretes Konzept beziehen, umfasst das konzeptbezogene Wissen verschiedene Konzepte. Es ist davon auszugehen, dass fehlendes oder fehlerhaftes Wissen zu einzelnen Konzepten im Sinne von Lernendenvorstellungen (vgl. Gropengießer & Marohn, 2018) zu einzelnen inhaltlichen Fehlern führt, nicht aber ein übergreifendes allgemeines Verständnis über chemische Konzepte.

Anders als bei den Zusammenhängen zwischen Lernvoraussetzungen und Schwierigkeiten, müssen bei der Interpretation von Zusammenhängen zwischen Schwierigkeiten die inhaltlichen Dimensionen der jeweiligen Schwierigkeiten stärker berücksichtigt werden. Im Folgenden werden exemplarisch einzelne Zusammenhänge diskutiert. So stehen Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung in einem negativen Zusammenhang mit Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial, dem experimentellen Arbeiten und einem fehlerhaften Umgang mit dem Experimentiermaterial. Das Auftreten von Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung führt dazu, dass vor allem die anderen drei genannten Schwierigkeiten seltener auftreten. Dies lässt sich damit erklären, dass bei Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung ein grundlegendes Verständnis über das Ziel der Aufgabe besteht, sodass im weiteren Verlauf auch nicht zielführend experimentiert werden kann. Haben Schülerinnen und Schüler bereits mit der Zielsetzung und Aufgabenstellung der Experimentieraufgabe Schwierigkeiten, finden weitere Schritte, die für die erfolgreiche Bearbeitung offener Experimentieraufgabe notwendig sind (vgl. Gut-Glanzmann, 2012), nicht statt. Jeder einzelne Bearbeitungsschritt schafft wiederum neue Anlässe und Situationen besonders für experimentell-praktische Schwierigkeiten (Boyer, Stender & Härtig, 2022), sodass eben diese Schwierigkeiten erst durch ein hinreichend großes Verständnis über die Aufgabenstellung der Experimentieraufgabe begünstigt werden. Im Unterschied dazu führen Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten dazu, dass Untersuchungen durch die Schülerinnen und Schüler unsystematisch durchgeführt werden. Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten weisen einen engen Bezug zu naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen auf. Beim eigenständigen Lernen mit offenen Experimentieraufgaben ist vor allem die Beherrschung der Variablenkontrollstrategie von Bedeutung (Scheuermann, 2017). Schülerinnen und Schüler, die Schwierigkeiten im naturwissenschaftlichen Denken und Arbeiten haben, können abhängige und unabhängige Variablen sowie Kontrollvariablen im Experimentierprozess nicht identifizieren und in einem Untersuchungsansatz umsetzen. Daraus ergeben sich unkontrollierte Experimentieransätze, was die Beziehung zwischen den beiden Schwierigkeiten erklärt.

IV.4.2 Qualitätsbezogene Diskussion aus methodologischer Perspektive

Die Aussagekraft der Ergebnisse wird maßgeblich durch die Qualität der Erhebungs- und Auswertungsverfahren bestimmt. Mit Blick auf die dieser

Untersuchung zugrunde liegenden Qualitätsstandards (vgl. Kapitel II.5.3) wird die Hauptstudie abschließend kritisch reflektiert.

Grundsätzlich liegen der Erhebung und Auswertung qualitativer und quantitativer Daten standardisierte Bedingungen zugrunde. Für die Erhebung der Prozessdaten wurde auf das in der Vorstudie bereits bewährte Setting zurückgegriffen. Der Einsatz der Tests erfolgte ebenfalls unter im Vorfeld festgelegten Bedingungen und Abläufen. Die Auswertung der Daten erfolgte regelgeleitet und insbesondere bei den Prozessdaten auf der Grundlage des in der Vorstudie entwickelten Analyseverfahrens. Dazu wurde das dort entwickelte Kodiermanual mit den Kodierern gemeinsam besprochen. Das Vorgehen folgt dabei den festgelegten Regeln und Verfahrensschritten der strukturierenden Inhaltsanalyse. Für die quantitativen Analysen von Zusammenhängen wurden ebenfalls im Sinne der Verfahrensdokumentation wichtige Modellparameter mitangegeben. Die Interpretation der Ergebnisse erfolgte auf der Grundlage festgelegter Wertebereiche (vgl. Kapitel II.5). Damit erfüllt die Hauptstudie wichtige Qualitätsstandards bezüglich Objektivität. Bei diagnostischen Beobachtungen, wie sie der Erfassung von Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten in der Hauptstudie zugrunde liegen, muss trotz eines systematischen und regelgeleiteten Verfahrensablaufs von Beobachtungs- und Wahrnehmungsfehlern ausgegangen werden (Kliemann, 2010). Diese betreffen vor allem die Erfassung erschwerter Lernsituation als das Auftreten von Schwierigkeiten sowie die Identifikation der beobachteten Schwierigkeiten. Das Gleiche gilt für die Modellierung von Lerntätigkeiten. Bei Leistungstests spielen vor allem Messfehler im Sinne einer fehlerbehafteten Erfassung eines quantifizierbaren Merkmals eine Rolle (Döring & Bortz, 2015). Sowohl hinsichtlich Beobachtungs- und Wahrnehmungsfehlern als auch möglicher Messfehler beim Einsatz der Leistungstests, deuten die hohen Beobachterübereinstimmungen und Reliabilitäten der Leistungstests auf eine akzeptable Messgenauigkeit der eingesetzten Messverfahren hin. Sowohl Cohens Kappa als auch die berichteten WLE-Reliabilitäten haben sich wegen ihrer Passung zu den untersuchten Daten für diese Untersuchung als aussagekräftige Koeffizienten herausgestellt. Die Validität der Ergebnisse wird vor allem durch die untersuchte Stichprobe und die unterschiedlichen Lernumgebungen, die in der Vorstudie entwickelten und empirisch abgesicherten Verfahren zur Datenerhebung sowie die Verschränkung von Daten sichergestellt. Aus der großen Heterogenität der Stichprobe sowie durch die Wahl unterschiedlicher Lernumgebungen lassen sich Erkenntnisse für das Lernen von Schülerinnen und Schülern mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen unabhängig vom Thema gut ableiten und auf die Forschungsfragen beziehen. Einschränkend besteht durch Aufnahme unterschiedlicher Schulformen allerdings die Möglichkeit der Nivellierung oder Überlagern von Effekten. Dies kann

im Wesentlichen auf die empirisch belegten differentiellen Lern- und Entwicklungsbedingungen der unterschiedlichen Schulformen zurückgeführt werden (u. a. Baumert, Stanat & Watermann, 2006; Baumert et al., 2009; Angelone, 2019). Insofern liefert die schulformübergreifende Analyse von Zusammenhängen zwischen Lern- und Leistungsmerkmalen zwar grundlegende Erkenntnisse in Bezug auf die zu beantwortenden Forschungsfragen, für spezifische Aussagen in Bezug auf konkrete Lerngruppen ist hier jedoch eine differenzierte Betrachtung notwendig. Hinweise hierzu lassen sich in den vertiefenden Analysen finden. Gleiches gilt es kritisch für die eingesetzten Lernumgebungen zu den verschiedenen Inhaltsfeldern zu beachten. Allerdings führt das Einbeziehen von Lernprozessen zu unterschiedlichen Themen zu einer Erhöhung der Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse, da die Ergebnisse keine spezifischen Effekte einzelner Themen widerspiegeln. Gleichwohl muss die Variation der Fachinhalte in dieser Untersuchung kritisch in die Diskussion der Erkenntnisse einbezogen werden, da sich Fachinhalte und die damit in Beziehung stehenden Konzepte hinsichtlich ihrer Komplexität unterscheiden (vgl. u. a. Celik, 2022; van Vorst, 2013).

Mit Blick auf die Eignung der eingesetzten Methoden der Datenauswertung kann festgehalten werden, dass mit Hilfe der gewählten Methoden die notwendigen Erkenntnisse zur Beantwortung der Forschungsfragen gewonnen werden konnten. Zu berücksichtigen ist hierbei die rückwärtsgerichtete Selektion von Prädiktoren bei den durchgeführten Regressionsanalysen. Da für die untersuchten Merkmale bisher keine Erkenntnisse über deren Zusammenhänge vorliegen, wurde auf ein konfirmatorisches Prüfen im Sinne eines simultanen Variableneinschlusses weitestgehend verzichtet. Für die Analyse komplexer Zusammenhänge wie für die Wirkungsgefüge zwischen Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten müssen die Ergebnisse der Analysen, und hier insbesondere die Stärke der Zusammenhänge, jedoch kritisch betrachtet werden, da bei derartigen Analysen eigentlich Pfadanalysen und Strukturgleichungsmodelle einer wiederholten Durchführung mehrerer Regressionsmodelle vorgezogen werden sollten (vgl. Schlittgen, 2009). Aufgrund des explorativen Charakters der vorliegenden Untersuchung und der vergleichsweise geringen Stichprobengröße, die der Hauptstudie zugrunde liegt, wurde auf die Durchführung von derartiger Analysen verzichtet.

V ERKENNTNISSE DER UNTERSUCHUNG

V.1 Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung ist in eine Vorstudie und eine Hauptstudie gegliedert. Während in der Vorstudie geeignete Messverfahren entwickelt, zusammengestellt und erprobt worden sind, liegt der Schwerpunkt der Hauptstudie in der Analyse von Zusammenhängen von Merkmalen, deren Erfassung in der Vorstudie vorbereitet worden ist. In der Vorstudie beziehen sich die Forschungsfragen daher auf relevante Merkmale für das Lernen differenziert nach Leistungs- und Prozessmerkmalen.

Fragestellung 1a *Wie lassen sich für das Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben relevante Schülermerkmale „kognitive Grundfähigkeiten“, „konzeptbezogenes Fachwissen in der Chemie“, „prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren“ und verschiedene affektive Faktoren unter besonderer Berücksichtigung heterogener Lerngruppen angemessen erfassen?*

Bei den individuellen Lernvoraussetzungen spielen vor allem die kognitiven Grundfähigkeiten und das prozessbezogene Wissen zum Experimentieren eine zentrale Rolle für erfolgreiches Lernen. Die eingesetzten Messverfahren für die individuellen Lernvoraussetzungen zeigen vor allem für bereits empirisch erprobte und bewährte Tests eine hinreichend hohe Messqualität und konnten unverändert in die Hauptstudie übernommen werden. Die im Rahmen der Untersuchung entwickelten Leistungstests zur Messung des konzeptbezogenen Wissens weisen hinsichtlich ihrer Messqualität auf eine nicht optimale Erfassung hin. Durch Überarbeitung der Items auf der Grundlage von Distraktoranalysen sowie Konstruktion zusätzlicher Items auf der Grundlage der Lernziele der eingesetzten Experimentieraufgaben konnte die Messqualität der Tests verbessert werden.

Fragestellung 1b *Welche Lernaktivitäten und Schwierigkeiten lassen sich beim Einsatz kooperativer Lernaufgaben zu unterschiedlichen Inhalten im Chemieunterricht unter besonderer Berücksichtigung*

des Lernens in heterogenen Lerngruppen beobachten und wie lassen sich diese angemessen erfassen?

Mit Blick auf den Lernprozess konnten in der Vorstudie eine Vielzahl themenspezifischer Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten identifiziert werden. Die themenspezifischen Lerntätigkeiten lassen sich zu 21 themenunabhängigen Lerntätigkeiten zusammenfassen, die wiederum sechs übergeordneten Aktivitätsbereichen zugeordnet werden können. Diese Aktivitätsbereiche beziehen sich auf bereits in der Forschung bekannte Aktivitätsbereiche beim Experimentieren. Innerhalb der übergeordneten Aktivitätsbereiche wird der Heterogenität der Stichprobe dadurch Rechnung getragen, dass bei der Modellierung Lerntätigkeiten mit unterschiedlich hoher Komplexität formuliert wurden. Die themenspezifischen Schwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern innerhalb einer Experimentieraufgabe konnten mit hinreichend hoher Qualität zu 12 themenunabhängigen Schwierigkeiten zusammengefasst werden. Diese umfassen sowohl Schwierigkeiten im Sinne erschwerter Lernsituationen als auch eindeutige Fehler. Die anfänglich geringe Messqualität des Verfahrens zur Lernprozessanalyse konnte mit Hilfe einer diskursiven Validierung des Kodiermanuals im Wesentlichen auf ungenaue Kategorienbeschreibungen sowie für die Schwierigkeiten im Speziellen auf die timebasierte Kodierung zurückgeführt werden. Eine Ausschärfung der Kategorienbeschreibungen insbesondere in Bezug auf eine Konkretisierung für unterschiedliche Lerngegenstände sowie die Anpassung des Kodierprozesses für die Schwierigkeiten führte bei der Qualitätsanalyse im Rahmen der Hauptstudie durch hohe Beobachterübereinstimmungen zu einer hinreichend hohen Messqualität des Verfahrens der Lernprozessanalyse. Damit konnten der Hauptstudie Mess- und Auswertungsverfahren mit hinreichend hoher Messqualität zugrunde gelegt werden.

Fragestellung 2 *In welchem Zusammenhang stehen individuelle Lernvoraussetzungen, aufgabenbezogene Lernaktivitäten, Schwierigkeiten und der individuelle Lernerfolg von Schülerinnen und Schülern beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben im Chemieunterricht?*

Für erfolgreiches Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben in der Sekundarstufe I stellen individuelle Lernvoraussetzungen, genutzte Lerntätigkeiten und auftretende Schwierigkeiten gleichermaßen wichtige Einflussfaktoren dar. Grundlegend dafür ist eine möglichst hohe aktive Lernzeit, die möglichst wenig nicht aufgabenbezogenes Arbeiten enthält.

Als wichtige Determinanten für den individuellen Lernerfolg haben sich als individuelle Lernvoraussetzungen vor allem das prozessbezogene Wissen zum Experimentieren sowie die kognitiven Fähigkeiten gezeigt. Auf der Prozessebene wirken sich vor allem eine konkrete aufgabenbezogene Planung einer Bearbeitungsstrategie sowie grundlegende auswertungsbezogene Lerntätigkeiten positiv auf den individuellen Lernerfolg aus. Bei den möglichen Schwierigkeiten stellen vor allem Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung, Fehler beim Schlussfolgern sowie eine unvollständige Lösung der Aufgabe Risikofaktoren für erfolgreiches Lernen dar. Die Nutzung lernrelevanter Tätigkeiten und das Auftreten von Schwierigkeiten werden ihrerseits wesentlich durch individuelle Lernvoraussetzungen, und hier insbesondere durch das prozessbezogene Wissen zum Experimentieren, bedingt. Auf der Prozessebene sind die Wirkungszusammenhänge zwischen Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten komplex und umfassen neben eindeutigen Bedingungsbeziehungen auch wechselseitige Beziehungen zwischen der Nutzung von Lerntätigkeiten und dem Auftreten von Schwierigkeiten. Als weiterer Bedingungsfaktor für das Auftreten von Schwierigkeiten konnte neben individuellen Lernvoraussetzungen und genutzten Lerntätigkeiten auch das Auftreten anderer Schwierigkeiten nachgewiesen werden. Vor allem Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung, Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge sowie Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten führen häufig zu weiteren Schwierigkeiten und Fehlern bei der Bearbeitung der Experimentieraufgabe. Darüber hinaus liegen zwischen den Schwierigkeiten wechselseitige Beziehungen vor, die das Auftreten von Schwierigkeiten gegenseitig bedingen.

Die vertiefenden Analysen zur Hauptstudie deuten auf differentielle Effekte beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben hinsichtlich unterschiedlicher Leistungsgruppen hin. Für unterschiedliche Leistungsgruppen lassen sich spezifische Bedingungsfaktoren für erfolgreiches Lernen identifizieren, die sich vor allem auf die Bedeutsamkeit unterschiedlicher Schwierigkeiten für den Lernerfolg beziehen. Für eher schwache Lernende sind damit andere Schwierigkeiten und Fehler für den Lernerfolg ausschlaggebend als für stärkere Lernende. Mit Blick auf die unterschiedlichen Lerninhalte der Experimentieraufgaben lässt sich abschließend festhalten, dass ein Auftreten von Schwierigkeiten zusätzlich zu den Lernendenmerkmalen auch von der Lernumgebung selbst beeinflusst wird. Hinweise hierzu liefern die Analysen zum Auftreten von Schwierigkeiten in den unterschiedlichen Lernumgebungen.

V.2 Diskussion

Die im vorangegangenen Abschnitt dargestellten Erkenntnisse liefern Hinweise dafür, welche Merkmale für eine adaptive und individualisierte Lernprozessgestaltung in den Blick genommen werden müssen und inwieweit sich diese gegenseitig bedingen. Grundlage der Erkenntnisse bilden in der vorliegenden Untersuchung kooperative Experimentieraufgaben, die von den Schülerinnen und Schüler eigenständig in Kleingruppen bearbeitet werden. Damit sind die Erkenntnisse auf ein Experimentierformat beschränkt und müssen auch in diesem Kontext gesehen werden. Zwar bildet der Einsatz kooperativer Experimentieraufgaben im Wesentlichen die Umsetzung von Schülerexperimenten im Chemieunterricht gut ab, jedoch stellt vor allem die offene Gestaltung durch eine fehlende Versuchsvorschrift ein erhöhtes Anforderungsniveau für die Schülerinnen und Schüler dar. Gleichzeitig erfüllen kooperative Experimentieraufgaben jedoch eine Vielzahl von Merkmalen für qualitativvolles und individualisiertes Experimentieren, die in traditionellen Schülerexperimentierphasen oft unberücksichtigt bleiben. Weiterhin einschränkend ist die Fokussierung auf Schülerinnen und Schüler des zweiten Lernjahrs Chemie. Um an dieser Stelle die Komplexität in der Auswertung der Daten zu reduzieren, wurde hier auf die Untersuchung weiterer Lernjahre verzichtet. Stattdessen wurden Experimentieraufgaben zu unterschiedlichen Inhaltsfeldern eingesetzt, da es in der Untersuchung weniger um themenspezifische Merkmale als um verallgemeinerbare Aussagen über unterschiedliche Inhalte hinweg geht. Die drei untersuchten Lernumgebungen greifen dabei unterschiedliche Konzepte auf und beziehen in unterschiedlicher Art und Weise die drei Basiskonzepte in der Chemie mit ein. Die Untersuchung fand zudem im Rahmen des regulären Chemieunterrichts an den Schulen statt, sodass der Arbeit schulpraktisch bedeutsame Bedingungen zugrunde liegen. Hinsichtlich des Studiendesign ergeben sich dadurch jedoch Probleme in Bezug auf eine umfängliche Kontrolle von lernbedeutsamen Rahmenbedingungen, wie sie systematisch in experimentellen Studien kontrolliert werden. Da jedoch für die schulische Praxis bedeutsame Aussagen getroffen werden sollen, kann insgesamt von einer hohen Relevanz und Validität der Erkenntnisse für das Lernen mit kooperativen Lernaufgaben im zweiten Lernjahr des Faches Chemie ausgegangen werden.

In der gesamten Untersuchung steht die Individualperspektive der Schülerinnen und Schüler im Vordergrund, da erfolgreiches Lernen in der Untersuchung über die individuelle Entwicklung im konzeptbezogenen Wissen operationalisiert wurde und individuelle Lernvoraussetzungen und Lernaktivitäten in einem engen Zusammenhang dazu stehen. Unberücksichtigt bleibt dabei der Bearbeitungsprozess als

kooperativer Gruppenprozess, was ein zentrales Merkmal der eingesetzten Lernumgebungen ist. Um die Komplexität der Auswertung zu reduzieren, wurde auf Interaktionsprozesse auf Gruppenebene verzichtet. Inwieweit der individuelle Lernerfolg damit vom Gruppenprozess abhängt und wie sich Aktivitäten anderer Schülerinnen und Schüler auf das Lernverhalten einzelner Lerner auswirkt, wird im Rahmen der Arbeit nicht untersucht. Aufgrund der geringen Stichprobengröße wurde zudem auf Mehrebenenanalysen verzichtet. Damit sind die Ergebnisse auf individuelle Zusammenhänge beschränkt und lassen beispielsweise keine Schlussfolgerungen über die Qualität des Gruppenprozesses zu.

Den Analysen liegen Messverfahren zugrunde, die eine ausreichend hohe Messqualität besitzen. Die Qualität der Ergebnisse der Lernprozessanalyse werden durch die Integration deduktiver und induktiver Verfahren der Kategorienbildung sowie durch eine diskursive Validierung des Kategoriensystems durch die unterschiedlichen Kodierer sichergestellt. Die hohe Beobachterübereinstimmung lässt auf eine hohe Auswertungsobjektivität und auch Reliabilität des Verfahrens schließen. Für die Kodierung von Lerntätigkeiten hat sich eine zeitbasierte Kodierung in 10-Sekunden-Intervallen auf Individualebene bewährt, da hier die Komplexität des Gruppenprozesses reduziert wird. Übergeordnet sind durch das zeitbasierte Kodieren von Lerntätigkeiten keine Aussagen über die inhaltliche Strukturierung des Experimentierprozesses möglich, sodass ausschließlich die Intensität der Nutzung einer Lerntätigkeit als Determinante untersucht werden kann. Für die Kodierung von Schwierigkeiten konnte eine zeitbasierte Kodierung in 10-Sekunden-Intervallen nicht als geeignetes Vorgehen identifiziert werden. Hier hat sich eine dichotome Kodierung hinsichtlich des Auftretens innerhalb eines Bearbeitungsprozesses auf Individualebene bewährt. Dadurch können aber keine Aussagen über die Intensität des Auftretens einer Schwierigkeit sowie über lokale Bedingungen beim Auftreten einer Schwierigkeit im Lernprozess getroffen werden. Inwieweit sich also Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten direkt im Lernprozess bedingen, kann nicht abschließend geklärt werden.

V.3 Implikationen

Im Folgenden werden abschließend Anwendungsbezüge aus den Erkenntnissen der Untersuchung abgeleitet. Da die vorliegende Untersuchung der empirischen Bildungsforschung zugeordnet werden kann, wird die Anschlussfähigkeit vor allem in Bezug auf Forschungs- und Schulpraxis diskutiert.

Die Erkenntnisse über Lerntätigkeiten, die für den individuellen Lernerfolg von besonderer Bedeutung sind, liefern dabei Ansatzpunkte für eine inhaltliche Strukturierung von Aufgabenstellungen, die bewusst die Nutzung planungs- und auswertungsbezogene Lerntätigkeiten hervorhebt und fördert. In der vorliegenden Untersuchung konnten Lerntätigkeiten zudem als Ursachen für auftretende Schwierigkeiten nur global herausgearbeitet werden. Warum genau und unter welchen Umständen Schwierigkeiten beim Experimentieren entstehen, muss durch weitere Forschung geklärt werden. Hierzu ist es notwendig, dass Schwierigkeiten wie Lerntätigkeiten intervallbasiert im Lernprozess kodiert werden. So können auftretender Schwierigkeiten und Lerntätigkeiten zeitlich unmittelbar miteinander in Beziehung gesetzt werden. Zur weiteren Absicherung der gefundenen Zusammenhänge ist es notwendig, in ähnlichen Forschungsvorhaben weitere Lernjahre und Inhaltsbereiche zu untersuchen. Hierzu kann das im Rahmen der Untersuchung entwickelte Messverfahren zur Erfassung von Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten angewendet und insbesondere hinsichtlich Validität geprüft werden. Darüber hinaus gilt es zu prüfen, welche Bedeutung die Befunde allgemein für das Experimentieren haben, bei denen beispielsweise der Prozess stärker strukturiert ist oder die Lernenden andere Aufgaben haben. Hier wäre beispielsweise das Experimentieren nach Vorschrift zu nennen, bei dem ebenfalls von Schwierigkeiten im Lernprozess ausgegangen werden kann.

Mit den Erkenntnissen der Untersuchung können Lernmaterial und insbesondere Lernumgebungen zum eigenständigen Experimentieren systematisch entwickelt werden. Das ist sowohl für die Schulpraxis als auch naturwissenschaftsdidaktische Forschung relevant. Inwieweit der Lerninhalt die Komplexität kooperativer Experimentieraufgaben beeinflusst, kann durch die Untersuchung nicht abschließend geklärt werden. Die Ergebnisse der Untersuchung deuten lediglich darauf hin, dass Schwierigkeiten als Konsequenzen bestimmter Komplexitätsfaktoren zum Teil in verschiedenen Lerninhalten unterschiedlich intensiv auftreten. Hier ist weitere Forschung notwendig, um inhaltsbezogene Merkmale zur systematischen Variation der Komplexität kooperativer Experimentieraufgaben herauszuarbeiten. Inwieweit sich diese Merkmale als weitere Ursachen für das Auftreten von Schwierigkeiten identifizieren lassen, kann hierdurch ebenfalls geklärt werden. Von besonderer Bedeutung sind die Erkenntnisse der Untersuchung für die Gestaltung individualisierter Lerngelegenheiten. Konkret bedeutet dies für das Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben vor allem die Entwicklung von Fördermaterial und Unterstützungsangeboten. Bisher werden einer Individualisierung im Chemieunterricht vor allem leistungsbezogene Merkmale zugrunde gelegt. In der vorliegenden Untersuchung zeigt sich jedoch, dass Prozessmerkmale einen ebenso

großen Einfluss auf erfolgreiches Lernen haben. Insofern kann gerade für das Experimentieren davon ausgegangen werden, dass bei der Entwicklung von Maßnahmen zur individuellen Förderung besonders auch Prozessmerkmale wie das Herausfordern bestimmter Lerntätigkeiten und der Umgang mit Schwierigkeiten berücksichtigt werden müssen. Besonders Schwierigkeiten bieten eine geeignete Möglichkeit, um Lernende gezielt und bedarfsorientiert im Sinne einer adaptiven Förderung zu unterstützen. Hierzu müssen geeignete Unterstützungsangebote entwickelt werden, die geeignet sind, um einzelne Schwierigkeiten angemessen zu klären. Da sich die Beschreibung der identifizierten Schwierigkeiten wesentlich auf theoretische Bezüge zurückführen lässt (vgl. Abschnitt I.1.2), können der Entwicklung von Unterstützungsangeboten empirische Forschungsbefunde zu Förderansätzen beim eigenständigen Experimentieren (vgl. Abschnitt I.1.2) zugrunde gelegt werden. Darüber hinaus können gezielte Lernanlässe entwickelt werden, die bestimmte Lerntätigkeiten fördern und Lernende beispielsweise explizit zur Planung oder Auswertung auffordert. Zur Überprüfung der Wirksamkeit eines solchen Zugangs zur Individualisierung sind experimentelle Interventionsstudien notwendig. Weiterführend kann hier auch die Adaptivität solcher Fördermaßnahmen überprüft werden, indem eine bedarfsorientierte Zuweisung von Fördermaßnahmen mit einer beliebigen Zuweisung verglichen wird. Mit Blick auf die Bedeutung diagnosegestützter Förderung können die Erkenntnisse der Untersuchung auch dazu genutzt werden, um Selbstdiagnosebögen zu entwickeln, mit denen die Schülerinnen und Schüler eigenständig ihre Schwierigkeiten aufdecken. Auf dieser Grundlage können dann gezielt Förderangebote ausgewählt werden. Außerdem wird dadurch der Aufbau negativen Wissens bei den Lernenden gefördert. Hier gilt es weiter empirisch zu prüfen, inwieweit Schülerinnen und Schüler in der Lage sind, eigene Schwierigkeiten differenziert wahrzunehmen und inwieweit sich eine aktive Auseinandersetzung mit eigenen Schwierigkeiten auf das Auftreten von Schwierigkeiten in weiteren Lernprozessen auswirkt.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse zu den Zusammenhängen zwischen Leistungs- und Prozessmerkmalen aber auch, dass für unterschiedliche Lernende differenzierte Aussagen zum Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben zu treffen sind. Während kooperative Experimentieraufgaben auch ohne Unterstützungsangebote für starke Lernende geeignete Lerngelegenheiten darstellen, sind für die Gruppe schwacher Lernender weitere Adaptionen notwendig. Die Erkenntnisse der Untersuchung liefern hierzu grundlegende Hinweise und belegen die Notwendigkeit einer gezielten und spezifischen Förderung schwacher Lernender, die sich in Schulleistungsstudien immer wieder als Risikogruppe in Bezug auf eine anschlussfähige naturwissenschaftliche Grundbildung konstituiert.

Im Unterricht selbst spielen neben den bereits genannten Maßnahmen zur Makro-adaption vor allem auch Mikro-adaptionen beispielsweise durch bedarfsorientiertes Lehrkräftefeedback eine Rolle. Grundlage hierfür ist vor allem eine hinreichend hohe diagnostische Kompetenz von Lehrkräften. Das Wissen zu möglichen Schwierigkeiten und deren Zusammenhänge zu individuellen Lernvoraussetzungen ist ein integraler Bestandteil des diagnostischen Wissens von Lehrkräften. Die Untersuchung liefert hierzu die Erkenntnis, dass unabhängig vom bearbeiteten Thema beim eigenständigen Experimentieren im Chemieunterricht mit 12 unterschiedlichen Schwierigkeiten zu rechnen ist. Lehrkräfte sollten diese Schwierigkeiten kennen und in der Lage sein, diese spezifisch für konkrete Themen zu denken. Da ein Auftreten der Schwierigkeiten von den individuellen Lernvoraussetzungen abhängt, können Lehrkräfte dieses Wissen zur gezielten Förderung einzelner Lernender im Lernprozess nutzen. Die Erkenntnisse der Untersuchung können daher insgesamt in der Professionalisierung von Lehrkräften genutzt werden. Die Ergebnisse der Untersuchung erlauben auch erstmals Aussagen darüber, wie eine spezifische Professionalisierung für unterschiedliche Lehrämter umzusetzen ist: Am Gymnasium sind individuelle Lernvoraussetzungen und Unterstützungsbedarfe der Lernenden anders ausgeprägt als an nichtgymnasialen Schulformen, sodass Lehrkräfte unterschiedlicher Schulformen im Chemieunterricht auch vor sehr unterschiedlichen und spezifischen Herausforderungen stehen. Die Effektivität einer solchen Lehrkräftefortbildung zur Diagnostik von Schwierigkeiten beim Experimentieren konnte für die Physik bereits empirisch gezeigt werden (vgl. Draude, 2016). Eine Absicherung dieser Befunde durch ein entsprechendes Fortbildungsangebot für Chemielehrkräfte wäre hier wünschenswert. In diesem Zusammenhang sollte auch geklärt werden, ob sich durch die Förderung der diagnostischen Kompetenz von Lehrkräften in Bezug auf Schwierigkeiten beim Experimentieren auch einen unmittelbaren Effekt auf die Lernendenleistungen haben.

In der Untersuchung wurde ein Verfahren entwickelt und angewendet, das sich zur quantifizierenden Erfassung von Schwierigkeiten in Lernprozessen beim eigenständigen Experimentieren bewährt hat. Damit können Schwierigkeiten in zukünftigen Forschungsvorhaben mit weiteren quantifizierbaren Merkmalen in Beziehung gebracht werden. Damit liefert die Untersuchung auch einen Beitrag zur Weiterentwicklung bestehender Methoden in der Forschung zu Schwierigkeiten. Ein weiterer Vorteil besteht in der Unabhängigkeit der Schwierigkeitserfassung vom Lerninhalt, sodass Lernprozesse zu unterschiedlichen Lerninhalten vergleichend untersucht werden können.

Insgesamt leistet die vorliegende Arbeit damit insgesamt einen Beitrag zur Gestaltung individualisierter und adaptiver Lernprozesse, indem für das Lernen

bedeutsame Bedingungsfaktoren herausgearbeitet und für weitere Bestrebungen im schulischen und forschungsbezogenen Kontext verfügbar gemacht werden. Dies umfasst besonders eine individualisierte Perspektive auf das Auftreten von Schwierigkeiten sowie deren Ursache- und Wirkungszusammenhänge.

VI VERZEICHNISSE

VI.1 Literaturverzeichnis

- Adams, R. (2005). Reliability as a measurement design effect. *Studies in Educational Evaluation*, S. 162-172.
- Adams, R., & Wu, M. (2002). *PISA 2000 Technical Report*. Paris: OECD Publications.
- Adorno, T. W. (1971). Theorie der Halbbildung. In T. W. Adorno, *Gesammelte Schriften. Band 8: Soziologische Schriften 1* (S. 93-122). Frankfurt: Suhrkamp.
- Altrichter, H., Trautmann, M., Wischer, B., Sommerauer, S., & Doppler, B. (2009). Unterrichten in heterogenen Gruppen: Das Qualitätspotenzial von Individualisierung, Differenzierung und Klassenschülerzahl. In W. Specht, *Nationaler Bildungsbericht Österreich 2009. Band 2. Fokussierte Analysen bildungspolitischer Schwerpunktthemen* (S. 341-360). Graz: Leykam.
- Anderson, L., & Krathwohl, D. (2003). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing*. New York: Longman.
- Anus, S. (2015). *Evaluation individueller Förderung im Chemieunterricht-Adaptivität von Lerninhalten an das Vorwissen von Lernenden am Beispiel des Basiskonzeptes Chemische Reaktion*. Berlin: Logos-Verlag.
- Arnold, K.-H., & Richert, P. (2008). Unterricht und Förderung: Die Perspektive der Didaktik. In K.-H. Arnold, O. Graumann, & A. Rakhkockine, *Pädagogik. Handbuch Förderung. Grund- lagen, Bereiche und Methoden der individuellen Förderung von Schülern* (S. 26–35). Weinheim: Beltz.
- Bönsch, M. (2011). *Intelligente Unterrichtsstrukturen: eine Einführung in die Differenzierung*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag.
- Bühner, M. (2010). *Einführung in die Fragebogen- und Testkonstruktion*. München: Pearson Education.
- Bach, L., & Riebesell, U. (2016). Neue Erkenntnisse über die Auswirkungen der Ozeanversauerung auf marine Lebensgemeinschaften . In J. Lozán, S.-W. Breckle, R. Müller, & E. Rachor, *Warnsignal Klima: Die Biodiversität* (S. 249-253). Hamburg: Verlag Wissenschaftliche Auswertungen.
- Bader, H. J., & Lühken, A. (2019). Experimente. In K. Sommer, J. Wambach-Laicher, & P. Pfeifer, *Konkrete Fachdidaktik Chemie* (S. 460-517). Hannover: Aulis.
- Banchi, H., & Bell, R. (2008). The Many Levels of Inquiry. *Science and Children*, S. 26-29.
- Barke, H.-D., Harsch, G., Marohn, A., & Krees, S. (2015). *Chemiedidaktik kompakt-Lernprozesse in Theorie und Praxis*. Heidelberg: Springer Spektrum.
- Barzel, B., Reinhoffer, B., & Schrenk, M. (2012). Das Experimentieren im Unterricht. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel, & A. Schulz, *Experimentieren im mathematisch-*

- naturwissenschaftlichen Unterricht-Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 103-128). Münster: Waxmann.
- Baumert, J., & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, S. 469-520.
- Baumert, J., Maaz, K., Stanat, P., & Watermann, R. (2009). Schulkomposition oder Institution – was zählt? Schulstrukturen und die Entstehung schulformspezifischer Entwicklungsverläufe. *Die Deutsche Schule*, S. 33-46.
- Baumert, J., Stanat, P., & Watermann, R. (2006). Schulstruktur und die Entstehung differentieller Lern- und Entwicklungsmilieus. In J. Baumert, P. Stanat, & R. Watermann, *Herkunftsbedingte Disparitäten im Bildungswesen: Differentielle Bildungsprozesse und Probleme der Verteilungsgerechtigkeit. Vertiefende Analysen im Rahmen von PISA 2000* (S. 95-188). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Baur, A. (2018). Fehler, Fehlkonzepte und spezifische Vorgehensweisen von SchülerInnen und Schülern beim Experimentieren: Ergebnisse einer videogestützten Beobachtung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, S. 115-129.
- Beck, E., Baer, M., Guldemann, T., Bischoff, S., Brühwiler, C., Müller, P., . . . Vogt, F. (2008). *Adaptive Lehrkompetenz-Analyse und Struktur, Veränderung und Wirkung handlungssteuernden Lehrerwissens*. Münster: Waxmann.
- Beier, M., & Ackerman, P. (2005). Age, ability, and the role of prior knowledge on the acquisition of new domain knowledge: promising results in a real-world learning environment. *Psychological and Aging*, S. 341-355.
- Berg, A., Bergendahl, C., 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*, S. 351-372.
- Bohl, T., & Kucharz, D. (2010). *Offener Unterricht heute*. Weinheim: Beltz.
- Bohl, T., Batzel, A., & Richey, P. (2012). Öffnung – Differenzierung – Individualisierung – Adaptivität: Charakteristika, didaktische Implikationen und Forschungsbefunde verwandter Unterrichtskonzepte zum Umgang mit Heterogenität. In T. Bohl, M. Bönsch, M. Trautmann, & B. Wischer, *Binnendifferenzierung Teil 1: Didaktische Grundlagen und Forschungsergebnisse zur Binnendifferenzierung im Unterricht* (S. 40-69). Immenhausen: Prolog.
- Bond, T., & Fox, C. (2007). *Applying the Rasch Model: Fundamental Measurement in the Human Sciences*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Boone, W., Staver, J., & Yale, M. (2014). *Rasch Analysis in the Human Sciences*. Dodrecht: Springer.
- Brüchner, K. (2007). *Metakognition und Lernen in Chemie. Studien zur Domänengeneralität versus Domänenspezifität und Förderung der Metakognition beim Lernen in Chemie*. Kiel: Universitätsbibliothek.

- Brückmann, M., & Duit, R. (2014). Videobasierte Analyse unterrichtlicher Sachstrukturen. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker, *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 189-202). Heidelberg: Springer.
- Brühwiler, C. (2014). *Adaptive Lehrkompetenz und schulisches Lernen-Effekte handlungssteuernder Kognitionen von Lehrpersonen auf Unterrichtsprozesse und Lernergebnisse der Schülerinnen und Schüler*. Münster: Waxmann.
- Brüning, L., & Saum, T. (2010). Individualisierung und Differenzierung - aber wie? Kooperatives Lernen erschließt neue Zugänge. *Pädagogik*, S. 12-15.
- Bräu, K. (2005). Individualisierung des Lernens-Zum Lehrerhandeln bei der Bewältigung eines Balanceproblems. In K. Bräu, & U. Schwerdt, *Heterogenität als Chance. Vom produktiven Umgang mit Gleichheit und Differenz in der Schule* (S. 129-150). Münster: LIT Verlag.
- Brandenburger, M. (2016). *Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik?* Berlin: Logos-Verlag.
- Breiwe, R., Liegmann, A. B., & Otto, S. (2015). Von Heterogenität zu Diversität: Anschlussmöglichkeiten aus dem Kontext Schule für ungleichheitssensible Hochschullehre. In K. Rheinländer, *Ungleichheitssensible Hochschullehre: Positionen, Voraussetzungen, Perspektiven* (S. 237-256). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Brockmüller, S., & Ropohl, M. (2021). Auswerten von Versuchsdaten. Wo benötigen Oberstufenschüler Unterstützung? In S. Habig, *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch* (S. 717-720). Universität Duisburg-Essen.
- Buholzer, A., & Kummer Wyss, A. (2012). Heterogenität als Herausforderung für Schule und Unterricht. In A. Buholzer, & A. Kummer Wyss, *Alle gleich-alle unterschiedlich! Zum Umgang mit Heterogenität in Schule und Unterricht* (S. 7-15). Seelze: Friedrich Verlag.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). (2016). *Ozeanversauerung. Das andere Kohlendioxid-Problem*. Rostock: BMBF.
- Burger, N. (2000). *Vorstellungen von Schülern über Elektrochemie – eine Interviewstudie*. Dortmund: Dissertation.
- Busch, H., & Ralle, B. (2013). Diagnostik und Förderung fachsprachlicher Kompetenzen im Chemieunterricht. In M. Becker-Mrotzek, K. Schramm, E. Thürmann, & H. J. Vollmer, *Sprache im Fach. Sprachlichkeit und fachliches Lernen* (S. 277-294). Münster: Waxmann.
- Bybee, R. W. (2002). Scientific Literacy-Mythos oder Realität? In W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa, & R. Evans, *Scientific Literacy: Der Beitrag der Naturwissenschaften zur allgemeinen Bildung* (S. 21-43). Opladen: Leske & Budrich.
- Cappell, J. (2013). *Fachspezifische Diagnosekompetenz angehender Physiklehrkräfte in der ersten Ausbildungsphase*. Berlin: Logos Verlag.
- Celik, K. N. (2022). *Entwicklung von chemischen Fachwissen in der Sekundarstufe I. Validierung einer Learning Progression für die Basiskonzepte "Struktur der*

- Materie", "Chemische Reaktion" und "Energie" im Kompetenzbereich "Umgang mit Fachwissen".* Berlin: Logos Verlag.
- Chandrasegaran, A., Treagust, D., & Mocerino, M. (2007). The development of a two-tier multiple-choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation. *Chemistry Education: Research and Practice*, S. 293-307.
- Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, S. 37–46.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Cook, M., Carter, G., & Wiebe, E. (2007). The Interpretation of cellular transport graphics by students with low and high prior-knowledge. *International Journal of Science Education*, S. 239-261.
- Corno, L. (2008). On teaching adaptively. *Educational Psychologist*, S. 161-173.
- Döring, N., & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Heidelberg: Springer.
- Dörpinghaus, A., & Uphoff, I. K. (2013). Bildung als Aufgabe der Schule. In L. Haag, S. Rahm, H. J. Apel, & W. Sacher, *Studienbuch Schulpädagogik* (S. 325-344). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Dübbelde, G. (2013). *Diagnostische Kompetenzen angehender Biologie-Lehrkräfte im Bereich der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung*. Universität Kassel: Dissertation.
- David, A. B., & Zohar, A. (2009). Contribution of meta-strategic knowledge to scientific inquiry learning. *International Journal of Science Education*, S. 1657-1682.
- de Jong, T., & Ferguson-Hessler, M. G. (1996). Types and qualities of knowledge. *Educational Psychologist*, S. 105-113.
- de Jong, T., & van Joolingen, W. (1998). Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research*, S. 179-201.
- Dember, W. N. (1974). Motivation and the cognitive revolution. *American Psychologist*, 161-168.
- Demuth, R., Gräsel, C., Parchmann, I., & Ralle, B. (2008). *2008*. Münster: Waxmann.
- Deppner, J. (1989). *Fachsprache der Chemie in der Schule. Empirische Untersuchung zum Textverständnis und Ansätze zur sprachlichen Förderung türkischer und deutscher Schülerinnen und Schüler*. Heidelberg: Groos.
- Dinkelaker, J., & Herrle, M. (2009). *Erziehungswissenschaftliche Videographie: eine Einführung*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Dorfner, T., Förtsch, C., & Neuhaus, B. (2017). Die methodische und inhaltliche Ausrichtung quantitativer Videostudien zur Unterrichtsqualität im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Ein Review. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, S. 261-285.

- Draude, M. (2016). *Die Kompetenz von Physiklehrkräften, Schwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern beim eigenständigen Experimentieren zu diagnostizieren*. Berlin: Logos Verlag.
- Dresel, M., Steuer, G., & Berner, V. (2010). Zum Zusammenhang von Geschlecht, kultureller Herkunft und sozialer Herkunft mit Lernen und Leistung im Kontext von Schule und Unterricht. In J. Hagedorn, V. Schurt, C. Steber, & W. Waburg, *Ethnizität, Geschlecht, Familie und Schule. Heterogenität als erziehungswissenschaftliche Herausforderung* (S. 333-350). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Dumont, H. (2019). Neuer Schlauch für alten Wein? Eine konzeptuelle Betrachtung von individueller Förderung im Unterricht. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, S. 249-277.
- Ebel, R., & Frisbie, D. (1991). *Essentials of Educational Measurement*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Eckert, E. (2004). Individuelles Fördern. In H. Meyer, *Was ist guter Unterricht?* (S. 86-103). Berlin: Cornelsen.
- Eggert, S., & Bögeholz, S. (2014). Entwicklung eines Testinstruments zur Messung von Schülerkompetenzen. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker, *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 371-384). Heidelberg: Springer Verlag.
- Embretson, S., & Reise, S. (2000). *Item Response Theory for Psychologists*. Mahwah: Erlbaum Associates.
- Emden, M. (2011). *Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens-Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I*. Berlin: Logos-Verlag.
- Engelkamp, J. (2017). Episodisches Gedächtnis. In J. Hoffmann, & J. Engelkamp, *Lern- und Gedächtnispsychologie* (S. 111-208). Heidelberg: Springer.
- Fechner, S. (2009). *Effects of Context-oriented Learning on Student Interest and Achievement in Chemistry Education*. Berlin: Logos-Verlag.
- Fend, H. (2009). *Neue Theorie der Schule. Einführung in das Verstehen von Bildungssystemen*. Wiesbaden: VS Verlag.
- Feuser, G. (1998). Gemeinsames Lernen am gemeinsamen Gegenstand. In A. Hildeschiedt, & I. Schnell, *Integrationspädagogik. Auf dem Weg zu einer Schule für alle* (S. 19-35). Weinheim: Juventa Verlag.
- Flick, U. (2011). Triangulation qualitativer und quantitativer Forschung. In U. Flick, *Triangulation-Eine Einführung* (S. 75-96). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Flick, U. (2020). Gütekriterien qualitativer Forschung. In G. Mey, & K. Mruck, *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie-Designs und Verfahren (Band 2)* (S. 247-263). Heidelberg: Springer.

- Frick, T., & Semmel, M. (1978). Observer Agreement and Reliabilities of Classroom Observational Measures. *Review of Educational Research*, S. 157-184.
- Friebertshäuser, B., Langer, A., & Prengel, A. (2013). *Handbuch Qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft*. Weinheim: Beltz.
- Göhner, M., & Krell, M. (2020). Qualitative Inhaltsanalyse in naturwissenschaftsdidaktischer Forschung unter Berücksichtigung von Gütekriterien: Ein Review. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*.
- Gebhard, U., Höttecke, D., & Rehm, M. (2017). *Pädagogik der Naturwissenschaften-Ein Studienbuch*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Gehlen, C. (2016). *Kompetenzstruktur naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung im Fach Chemie*. Berlin: Logos-Verlag.
- Giest, H. (1999). Kognitive Entwicklung-Lernen-Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, S. 25-40.
- Gijlers, H., & de Jong, T. (2005). The relation between prior knowledge and students' collaborative discovery learning processes. *Journal for Research in Science Teaching*, S. 264–282.
- Gold, A. (2016). *Lernen leichter machen-Wie man im Unterricht mit Lernschwierigkeiten umgehen kann*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Gold, A. (2018). *Lernschwierigkeiten. Ursachen, Diagnostik, Intervention*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Gröhlich, C., Scharenberg, K., & Bos, W. (2009). Wirkt sich Leistungsheterogenität in Schulklassen auf den individuellen Lernerfolg in der Sekundarstufe aus? *Journal for educational research online*, S. 86-105.
- Gröschner, A., & Kleinknecht, M. (2013). Qualität von Unterricht-Ansätze aus der Perspektive der Unterrichtsforschung. In L. Haag, S. Rahm, H. J. Apel, & W. Sacher, *Studienbuch Schulpädagogik* (S. 162-177). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Gräber, W., & Lindner, M. (2009). Interessenstudie Chemieunterricht: Vergleich 1990 – 2008. In D. Höttecke, *Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung* (S. 92-94). Münster: LIT-Verlag.
- Gräber, W., & Nentwig, P. (2002). Scientific Literacy-Naturwissenschaftliche Grundbildung in der Diskussion. In W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa, & R. Evans, *Scientific Literacy: Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung* (S. 7-20). Opladen: Leske & Budrich.
- Greve, W., & Thomsen, T. (2019). *Entwicklungspsychologie-Eine Einführung in die Erklärung menschlicher Entwicklung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Groß, K. (2013). *Experimente alternativ dokumentieren. Eine qualitative Studie zur Förderung der Diagnose- und Differenzierungskompetenz in der Chemielehrerbildung*. Berlin: Logos Verlag.
- Gropengießer, H., & Marohn, A. (2018). Schülervorstellungen und Conceptual Change. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker, *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 49-68). Berlin: Springer.

- Gruehn, S. (2000). *Unterricht und schulisches Lernen-Schüler als Quellen der Unterrichtsbeschreibung*. Münster: Waxmann.
- Grunder, H.-U. (2012). Heterogenität und Innere Differenzierung des Unterrichts. In H.-U. Grunder, & A. Gut, *Zum Umgang mit Heterogenität in der Schule. Band 1* (S. 115-127). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Gut-Glanzmann, C., & Mayer, J. (2018). Experimentelle Kompetenz. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker, *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 121-140). Berlin: Springer.
- Gwet, K. L. (2014). *Handbook of Inter-Rater Reliability: The definitive Guide to Measuring the Extent of Agreement among Raters*. Gaithersburg, Md.: Advanced Analytics.
- Höft, L., Blankenburg, J., & Bernholt, S. (2017). Zusammenhänge zwischen Interessens- und Verständnisenwicklung. In C. Maurer, *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016* (S. 596-599). Universität Regensburg.
- Höttecke, D. (2001). *Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen. Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen*. Berlin: Logos.
- Habig, S. (2017). *Systematisch variierte Kontextaufgaben und ihr Einfluss auf kognitive und affektive Schülerfaktoren*. Berlin: Logos-Verlag.
- Hamann, M., Phan, T. T., Ehmer, M., & Bayrhuber, H. (2006). Fehlerfrei Experimentieren. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, S. 292-299.
- Hannover, B., Zander, L., & Wolter, I. (2014). Entwicklung, Sozialisation, Lernen. In T. Seidel, & A. Krapp, *Pädagogische Psychologie* (S. 139-166). Weinheim: Beltz Verlag.
- Harms, U., & Riese, J. (2018). Professionelle Kompetenz und Professionswissen. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker, *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 283-298). Berlin: Springer.
- Hartig, J., & Frey, A. (2013). Sind Modelle der Item-Response-Theorie (IRT) das „Mittel der Wahl“ für die Modellierung von Kompetenzen? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, S. 47-51.
- Hartig, J., & Klieme, E. (2006). Kompetenz und Kompetenzdiagnostik. In K. Schweizer, *Leistung und Leistungsdiagnostik* (S. 127-143). Heidelberg: Springer.
- Hartig, J., Frey, A., & Jude, N. (2008). Validität. In H. Moosbrugger, & A. Kelava, *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 135-163). Heidelberg: Springer.
- Hattie, J. (2012). *Visible learning for teachers : maximizing impact on learning*. London: Routledge.
- Hauerstein, M.-T. (2019). *Untersuchung zur Effektivität von Strukturierung und Binnendifferenzierung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I-Evaluation der Strukturierungshilfe Lernleiter*. Berlin: Logos-Verlag.
- Heimlich, U. (2016). *Pädagogik bei Lernschwierigkeiten*. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.

- Helbig, P. (2005). Schüler mit Lernschwierigkeiten . In W. Einsiedler, *Handbuch Grundschulpädagogik und Grundschuldidaktik* (S. 187-196). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Heller, K., & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klassen, Revision : KFT 4-12+R*. Göttingen: Beltz.
- Helmke, A. (2013). Individualisierung: Hintergrund, Missverständnisse, Perspektiven. *Pädagogik*, S. 34-37.
- Helmke, A. (2014). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität: Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts. Unterricht verbessern-Schule entwickeln*. Seelze: Klett-Kallmeyer.
- Helmke, A., & Schrader, F.-W. (2008). Determinanten der Schulleistung. In M. K. Schweer, *Lehrer-Schüler-Interaktion: Inhaltsfelder, Forschungsperspektiven und methodische Zugänge* (S. 285-302). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Helmke, A., & Weinert, F. E. (1997). Bedingungsfaktoren schulischer Leistungen. In F. E. Weinert, *Enzyklopädie der Psychologie. Pädagogische Psychologie. Psychologie des Unterrichts und der Schule* (S. 71-176). Göttingen: Hogrefe.
- Henke, C. (2007). *Experimentellnaturwissenschaftliche Arbeitsweisen in der Oberstufe. Untersuchung am Beispiel des HIGHSEA-Projekts in Bremerhaven*. Berlin: Logos-Verlag.
- Henschel, S., Heppt, B., Weirich, S., Edele, A., Schipolowski, S., & Stanat, P. (2019). Zuwanderungsbezogene Disparitäten. In P. Stanat, S. Schipolowski, N. Mahler, S. Weirich, & S. Henschel, *IQB-Bildungstrend. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ender Sekundarstufe I im zweiten Ländervergleich* (S. 295-336). Münster: Waxmann.
- Herrle, M., Kade, J., & Nolda, S. (2013). Erziehungswissenschaftliche Videographie. In B. Fiebertshäuser, A. Langer, & A. Prenzel, *Handbuch Qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft* (S. 599–619). München und Weinheim: Juventa.
- Hertel, S. (2014). Adaptive Lerngelegenheiten in der Grundschule: Merkmale, methodisch-didaktische Schwerpunktsetzungen und erforderliche Lehrerkompetenzen. In B. Kopp, S. Martschinke, Munser-Kiefer, Meike, M. Haider, E.-M. Kirschhok, . . . G. Renner, *Individuelle Förderung und Lernen in der Gemeinschaft* (S. 19-34). Wiesbaden: Springer VS.
- Hesse, I., & Latzko, B. (2017). *Diagnostik für Lehrkräfte*. Opladen: Budrich.
- Hoffmann, J. (2017). Das semantische Gedächtnis: Bildung und Repräsentation konzeptuellen Wissens. In J. Hoffmann, & J. Engelkamp, *Lern- und Gedächtnispsychologie* (S. 77-110). Heidelberg: Springer.
- Hoffmann, J., & Engelkamp, J. (2017). *Lern- und Gedächtnispsychologie*. Heidelberg: Springer.
- Hofman, F. (2000). *Aufbau von Lernkompetenz fördern*. Innsbruck: StudienVerlag.

- Horstkemper, M. (2006). Fördern heißt diagnostizieren- Pädagogische Diagnostik als wichtige Voraussetzung für individuellen Lernerfolg. In G. Becker, M. Horstkemper, E. Risse, L. Stäudel, R. Werning, & F. Winter, *Diagnostizieren und Fördern. Friedrich Jahresheft 2006* (S. 4-7). Seelze: Friedrich Verlag.
- Jaeger, D. (2019). *Kognitive Belastung und aufgabenspezifische sowie personenbezogene Einflussfaktoren beim Lösen von Physikaufgaben*. Berlin: Logos-Verlag.
- Jansen, M., Lüdtke, O., & Schroeders, U. (2016). Evidence for a positive relation between interest and achievement: Examining between-person and within-person variation in five domains. *Contemporary Educational Psychology*, S. 116-127.
- Kallweit, I. (2015). *Effektivität des Einsatzes von Selbsteinschätzungsbögen im Chemieunterricht der Sekundarstufe I - Individuelle Förderung durch selbstreguliertes Lernen*. Berlin: Logos Verlag.
- Kallweit, I., & Melle, I. (2016). Selbsteinschätzungsbögen als Instrument zur individuellen Förderung im Chemieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, S. 143–163.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The Expertise Reversal Effect. *Educational Psychologist*, S. 23-31.
- Kauertz, A. (2014). Entwicklung eines Rasch-skalierten Leistungstests. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker, *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 341-354). Heidelberg: Springer.
- Kechel, J.-H. (2016). *Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren. Eine qualitative Studie am Beispiel einer Experimentieraufgabe zum Hooke'schen Gesetz*. Berlin: Logos-Verlag.
- Keyser, P. (1993). The Purpose of the Parthian Galvanic Cells: A First-Century A. D. Electric Battery Used for Analgesia. *Journal of Near Eastern Studies*, S. 81-98.
- Kiesel, A., & Koch, I. (2012). *Lernen-Grundlagen der Lernpsychologie*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Klafki, W. (2007). *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik*. Weinheim und Basel: Beltz.
- Klafki, W., & Stöcker, H. (2007). Innere Differenzierung des Unterrichts. In W. Klafki, *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik* (S. 173-208). Weinheim: Beltz.
- Klahr, D. (2000). *Exploring Science: The Cognition and Development of Discovery Processes*. Cambridge: MIT Press.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual Space Search During Scientific Reasoning. *Cognitive Science-A Multidisciplinary Journal*, S. 1-48.
- Klauer, K. J., & Leutner, D. (2012). *Lehren und Lernen-Einführung in die Instruktionspsychologie*. Weinheim: Beltz.
- Kleickmann, T. (2012). Kognitiv aktivieren und inhaltlich strukturieren im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. In *Handreichungen des Programms SINUS and Grundschulen*. Kiel: IPN.

- Klieme, E. (2006). Empirische Unterrichtsforschung: Aktuelle Entwicklungen, theoretische Grundlagen und fachspezifische Befunde. Einleitung in den Thementeil. *Zeitschrift für Pädagogik*, S. 765-773.
- Klieme, E., & Rakoczy, K. (2008). Empirische Unterrichtsforschung und Fachdidaktik. Outcome-orientierte Messung und Prozessqualität des Unterrichts. *Zeitschrift für Pädagogik*, S. 222-237.
- Klieme, E., & Warwas, J. (2011). Konzepte der Individuellen Förderung. *Zeitschrift für Pädagogik*, S. 805-818.
- Klos, S., Henke, C., Kieren, C., Walpuski, M., & Sumfleth, E. (2008). Naturwissenschaftliches Experimentieren und chemisches Fachwissen - zwei verschiedene Kompetenzen. *Zeitschrift für Pädagogik*, S. 304-321.
- Knobloch, R. (2011). *Analyse der fachinhaltlichen Qualität von Schüleräußerungen und deren Einfluss auf den Lernerfolg. Eine Videostudie zu kooperativer Kleingruppenarbeit*. Berlin: Logos-Verlag.
- Koepen, K., Hartig, J., Klieme, E., & Leutner, D. (2008). Current Issues in Competence Modeling and Assessment. *Zeitschrift für Psychologie/Journal of Psychology*, S. 61-73.
- Kolen, M., & Brennan, R. (2014). *Test Equating, Scaling, and Linking: Methods and Practices*. New York: Springer.
- Konrad, K. (2010). *Wege zum erfolgreichen Lernen. Ansatzpunkt, Strategien, Beispiele*. Weinheim und Basel: Beltz Juventa.
- Konrad, K., & König, J. (2018). Biopsychologische Änderungen. In A. Lohaus, *Entwicklungspsychologie des Jugendalters* (S. 1-22). Heidelberg: Springer.
- Krapp, A. (1999). Intrinsische Lernmotivation und Interesse. Forschungsansätze und konzeptuelle Überlegungen. *Zeitschrift für Pädagogik*, S. 387-406.
- Krapp, A., Schiefele, U., & Schreyer, I. (1993). Metaanalyse des Zusammenhangs von Interesse und schulischer Leistung. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, S. 120-148.
- Krapp, M., & Nebel, J. (2011). *Methoden der Statistik. Lehr- und Arbeitsbuch*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Krause, U.-M., & Stark, R. (2006). Vorwissen aktivieren. In H. Mandl, & H. F. Friedrich, *Handbuch Lernstrategien* (S. 38-49). Göttingen: Hogrefe.
- Krippendorff, K. (2019). *Content Analysis: An Introduction to its Methodology*. Los Angeles: SAGE.
- Kubinger, K., & Draxler, C. (2007). Probleme bei der Testkonstruktion nach dem Rasch-Modell. *Diagnostica*, S. 131-143.
- Kuckartz, U. (2014). *Mixed Methods Methodologie, Forschungsdesigns und Analyseverfahren*. Wiesbaden: Springer VS.
- Kulik, C.-L. C., & Kulik, J. A. (1982). Effects of ability grouping on secondary school students: A meta-analysis of evaluation findings. *American Educational Research Journal*, S. 415-428.

- Kunath, J., & Fürstenau, B. (2019). Klassische und operante Konditionierung. In B. Fürstenau, *Lehr-Lern-Theorien. Behaviorismus, Kognitivismus, Konstruktivismus: Lernen und Expertise verstehen und fördern* (S. 7-26). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Kunter, M., & Trautwein, U. (2013). *Psychologie des Unterrichts*. Paderborn: Schöningh.
- Löffler, P. (2016). *Modellanwendung in Problemlöseaufgaben-Wie wirkt Kontext?* Berlin: Logos Verlag.
- Langlet, J. (2008). Individuelle Förderung im naturwissenschaftlichen Unterricht-Hilfen für die Umsetzung individuellen Kompetenzerwerbs. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, S. 3-14.
- Lederman, N. G., Lederman, J. S., & Antink, A. (2013). Nature of science and scientific inquiry as contexts for the learning of science and achievement of scientific literacy. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, S. 138-147.
- Leisen, J. (2006). Aufgabenkultur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, S. 260-266.
- Leitner, W., Ortner, R., & Ortner, A. (2008). *Handbuch Verhaltens- und Lernschwierigkeiten*. Weinheim und Basel: Beltz.
- Lindberg, S., & Hasselhorn, M. (2018). Kognitive Entwicklung. In A. Lohaus, *Entwicklungspsychologie des Jugendalters* (S. 51-74). Heidelberg: Springer.
- Lissman, U., & Jürgens, E. (2015). *Pädagogische Diagnostik Grundlagen und Methoden der Leistungsbeurteilung in der Schule*. Weinheim: Beltz.
- Lohaus, A., Vierhaus, M., & Maass, A. (2010). *Entwicklungspsychologie des Kindes- und Jugendalters*. Heidelberg: Springer.
- Lotz, M., & Lipowsky, F. (2015). Die Hattie-Studie und ihre Bedeutung für den Unterricht – Ein Blick auf ausgewählte Aspekte der Lehrer-Schüler-Interaktion. In G. Mehlhorn, F. Schulz, & K. Schöppe, *Begabungen entwickeln & Kreativität fördern* (S. 97-136). München: kopaed.
- Lou, Y., Abrami, P., Spence, J., Poulsen, C., Chambers, B., & d'Apollonia, S. (1996). Within-Class Grouping: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, S. 423–458.
- Luthiger, H. (2014). *Differenz von Lern- und Leistungssituationen-Eine explorative Studie zu ihrer theoretischen Grundlegung und empirische Überprüfung*. Münster: Waxmann.
- Luyten, J., & van der Hoeven-van Doornum, A. (1995). Classroom composition and individual achievement. Effects of classroom composition and teacher goals in Dutch elementary education. *Tijdschrift voor onderwijsresearch*, S. 42-62.
- Möller, K. (2013). Lernen von Naturwissenschaften heisst: Konzepte verändern. In P. Labudde, *Fachdidaktik Naturwissenschaften 1.-9. Schuljahr* (S. 57-72). Bern: Haupt.
- Magis, D., Beland, S., & Raiche, G. (2018). Manual zum R-Package "difR". URL.: <https://cran.r-project.org/web/packages/difR/difR.pdf>.

- Maier, U., Kleinknecht, M., Metz, K., & Bohl, T. (2010). Ein allgemeindidaktisches Kategoriensystem zur Analyse des kognitiven Potenzials von Aufgaben. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung* 28, S. 84-96.
- Mannel, S. (2011). *Assessing scientific inquiry. Development and evaluation of a test for the low-performing stage*. Berlin: Logos-Verlag.
- Markic, S., & Abels, S. (2014). Heterogeneity and Diversity – A Growing Challenge or Enrichment for Science Education in German Schools? *EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, S. 219-227.
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger, & H. Vogt, *Handbuch der Theorien in der biomedizinischen Forschung – Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 178-186). Berlin: Springer.
- Mayer, R. E. (2008). *Learning an Instruction*. Prentice Hall, NJ: Pearson.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim und Basel: Beltz.
- Mayring, P., & Brunner, E. (2009). Qualitative Inhaltsanalyse. In R. Buber, & H. Holzmüller, *Qualitative Marktforschung. Konzepte-Methoden-Analysen* (S. 669-680). Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Mayring, P., Gläser-Zikuda, M., & Ziegelbauer, S. (2004). Auswertung von Videoaufnahmen mit Hilfe der Qualitativen Inhaltsanalyse-ein Beispiel aus der Unterrichtsforschung. *Online Zeitschrift Medienpädagogik*, S. 1-9.
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (MSW-NRW). (2011a). *Kernlehrplan für den Lernbereich Naturwissenschaften an Hauptschulen*. Frechen: Ritterbach-Verlag
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (MSW-NRW). (2013). *Kernlehrplan für den Lernbereich Naturwissenschaften an Gesamtschulen*. Frechen: Ritterbach-Verlag
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (MSW-NRW). (2011b). *Kernlehrplan für das Fach Chemie an Realschulen*. Frechen: Ritterbach-Verlag
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (MSW-NRW). (2008). *Kernlehrplan für das Fach Chemie an Gymnasien*. Frechen: Ritterbach-Verlag
- Molder, Y., Lazonder, A., & de Jong, T. (2009). Finding Out How They Find It Out: An empirical analysis of inquiry learners' need for support. *International Journal of Science Education*, S. 2033-2053.
- Moosbrugger, H., & Kelava, A. (2008). Qualitätsanforderungen an einen psychologischen Test (Testgütekriterien). In H. Moosbrugger, & A. Kelava, *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 7-26). Heidelberg: Springer.
- Muth, L. (2018). *Einfluss der Auswertephase von Experimenten im Physikunterricht. Ergebnisse einer Interventionsstudie zum Zuwachs von Fachwissen und experimenteller Kompetenz von Schülerinnen und Schülern*. Berlin: Logos-Verlag.

- Neumann, K. (2014). Rasch-Analyse naturwissenschaftsbezogener Leistungstests. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker, *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 355-369). Heidelberg: Springer.
- Neumann, M., Schnyder, I., Trautwein, U., Niggli, A., Lüdtke, O., & Cathomas, R. (2007). Schulformen als differenzielle Lernmilieus-Institutionelle und kompositionelle Effekte auf die Leistungsentwicklung im Fach Französisch. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, S. 399-420.
- Oelkers, J. (2002). Wissenschaftliche Bildung: Eine notwendige Verunsicherung in beiden Richtungen. In W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa, & R. Evans, *Scientific Literacy: Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung* (S. 105-120). Opladen: Leske & Budrich.
- O’Cathain, A. (2010). Assessing the Quality of Mixed Methods Research: Toward a comprehensive Framework. In A. Tashakkori, & C. Teddlie, *The Sage Handbook of Mixed Methods in Social and Behavioral Research* (S. 531–555). Thousands Oaks: Sage.
- Oser, F., & Psychiger, M. (2005). *Lernen ist schmerzhaft. Zur Theorie des Negativen Wissens und zur Praxis der Fehlerkultur*. Weinheim: Beltz.
- Özcan, N. (2013). *Zum Einfluss der Fachsprache auf die Leistung im Fach Chemie. Eine Förderstudie zur Fachsprache im Chemieunterricht*. Berlin: Logos Verlag.
- Palinscar, A. S. (1998). Social constructivist perspectives on teaching and learning. *Annual Review of Psychology*, S. 345-375.
- Penfield, R., & Camilli, G. (2007). Differential item functioning and item bias. In C. R. Rao, & S. Sinharay, *Handbook of Statistics 26: Psychometrics* (S. 125-167). Amsterdam: Elsevier.
- Peper-Bienzeisler, R., Bröll, L., Pöhl, C., & Jansen, W. (2013). Untersuchungen zur Zitronenbatterie. *Chemkon*, S. 111-118.
- Piaget, J. (1961). The genetic approach to the psychology of thought. *Journal of Educational Psychology*, S. 275-281.
- Pineker-Fischer, A. (2015). *Sprach- und Fachlernen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Umgang von Lehrpersonen in soziokulturell heterogenen Klassen mit Bildungssprache*. Wiesbaden: Springer VS.
- Prenzel, A. (2019). *Pädagogik der Vielfalt. Verschiedenheit und Gleichberechtigung in Interkultureller, Feministischer und Integrativer Pädagogik*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Priemer, B. (2011). Was ist das Offene beim offenen Experimentieren? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, S. 315-338.
- 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*, S. 161-197.
- Rädiker, S., & Kuckartz, U. (2019). *Analyse qualitativer Daten mit MAXQDA. Text, Audio und Video*. Wiesbaden: Springer VS.

- Rabenstein, K., & Steinwand, J. (2013). Heterogenisierung: Subjektkonstruktionen im Heterogenitätsdiskurs in Deutschland. In J. Budde, *Unscharfe Einsätze: (Re-)Produktion von Heterogenität im schulischen Feld* (S. 81-98). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Rabenstein, K., & Wischer, B. (2016). Forschung zur Individualisierung im und von Unterricht. In K. Rabenstein, & B. Wischer, *Individualisierung schulischen Lernens* (S. 6-15). Seelze: Klett.
- Raithel, J., Dollinger, B., & Hörmann, G. (2009). *Einführung Pädagogik-Begriffe, Strömungen, Klassiker, Fachrichtungen*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Rasch, G. (1960). *Probabilistic models for some intelligence and attainment tests*. Chicago: MESA Press.
- Reh, S. (2013). Mit der Videokamera beobachten-Möglichkeiten qualitativer Unterrichtsforschung. In H. de Boer, & S. Reh, *Beobachtung in der Schule – Beobachten lernen* (S. 151-169). Wiesbaden: Springer VS.
- Reiss, K., Sälzer, C., Schiepe-Tiska, A., Klieme, E., & Köller, O. (2016). *PISA 2015-Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation*. Münster: Waxmann.
- Renkl, A. (1996). Vorwissen und Schulleistung. In J. Möller, & O. Köller, *Emotionen, Kognitionen und Schulleistung* (S. 175-190). Weinheim: Beltz.
- Resh, N., & Dar, Y. (1992). Learning segregation in junior high schools in Israel: Causes and consequences. *School Effectiveness and School Improvement*, S. 272-292.
- Rindermann, H., & Neubauer, A. (2000). Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und Schulerfolg: Weisen basale Maße der Intelligenz prädiktive Validität auf? *Diagnostica*, S. 8-17.
- Robitzsch, A., Kiefer, T., & Wu, M. (2020). Manual zum R-Package "Test Analysis Modules (TAM)". URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/TAM/TAM.pdf> (abgerufen am 24.04.2020).
- Rogalla, M., & Vogt, F. (2008). Förderung adaptiver Lehrkompetenz: Eine Interventionsstudie. *Unterrichtswissenschaft*, S. 17-36.
- Rost, J. (2004). *Lehrbuch Testtheorie-Testkonstruktion*. Bern: Huber.
- Rost, J., & Walter, O. (2011). Psychometrische Grundlagen von Large Scale Assessments. In L. Hornke, *Methoden der psychologischen Diagnostik* (S. 88-150). Göttingen: Hogrefe.
- Roth, G. (2011). Möglichkeiten und Grenzen von Wissensvermittlung und Wissenserwerb-Erklärungsansätze aus Lernpsychologie und Hirnforschung. In R. Caspary, *Lernen und Gehirn-Der Weg zu einer neuen Pädagogik* (S. 54-69). Freiburg im Breisgau: Herder.
- Roth, K., Druker, S., Garnier, H., Lemmens, M., Chen, C., Kawanaka, T., . . . Warvi, D. (2006). *Teaching Science in Five Countries: Results From the TIMSS 1999 Video Study-Statistical Analysis Report*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.

- Rumann, S. (2005). *Kooperatives Arbeiten im Chemieunterricht - Entwicklung und Evaluation einer Interventionsstudie zur Säure-Base-Thematik*. Berlin: Logos-Verlag.
- Sälzer, C. (2016). *Studienbuch Schulleistungsstudien-Das Rasch-Modell in der Praxis*. Heidelberg: Springer.
- Schecker, H., & Gerdes, J. (1999). Messung von Konzeptualisierungsfähigkeit in der Mechanik-Zur Aussagekraft des Force Concept Inventory. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, S. 75-89.
- Schecker, H., Parchmann, I., & Krüger, D. (2014). Formate und Methoden naturwissenschaftsdidaktischer Forschung. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker, *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 1-18). Heidelberg: Springer.
- Schendera, C. (2011). *Regressionsanalyse mit SPSS*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Scheuermann, H. (2017). *Entwicklung und Evaluation von Unterstützungsmaßnahmen zur Förderung der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten*. Berlin: Logos-Verlag.
- Scheunpflug, A. (2008). Lernen in heterogenen Gruppen-Möglichkeiten einer natürlichen Differenzierung. Anmerkungen zum Thema Heterogenität aus der Sicht Allgemeiner Didaktik. In H. Kiper, S. Miller, C. Palentien, & C. Rohlf, *Lernarrangements für heterogene Lerngruppen. Lernprozesse professionell gestalten* (S. 66-77). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Schrader, F.-W. (2013). Diagnostische Kompetenz von Lehrpersonen. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, S. 154-165.
- Schreiber, N. (2012). *Diagnostik experimenteller Kompetenz. Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells*. Berlin: Logos-Verlag.
- Schulz, A. (2010). *Experimentierspezifische Qualitätsmerkmale im Chemieunterricht. Eine Videostudie*. Berlin: Logos Verlag.
- Schulz, A., Wirtz, M., & Starauschek, E. (2012). Das Experiment in den Naturwissenschaften. In *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 15-38). Münster: Waxmann.
- Schumacher, R. (2011). Wie viel Gehirnforschung verträgt die Pädagogik? Über die Grenzen der Neurodidaktik. In R. Caspary, *Lernen und Gehirn-Der Weg zu einer neuen Pädagogik* (S. 23-35). Freiburg im Breisgau: Herder.
- Schwedt, G., Schmidt, T., & Schmitz, O. (2017). *Analytische Chemie : Grundlagen, Methoden und Praxis*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- Schwichow, M., & Nehring, A. (2018). Variablenkontrolle beim Experimentieren in Biologie, Chemie und Physik: Höhere Kompetenzausprägungen bei der Anwendung der Variablenkontrollstrategie durch höheres Fachwissen?

- Empirische Belege aus zwei Studien. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, S. 217–233.
- Seel, N. M., & Hanke, U. (2010). *Lernen und Behalten*. Weinheim und Basel: Beltz.
- Seidel, T., & Shavelson, R. (2007). Teaching Effectiveness Research in the Past Decade: The Role of Theory and Research Design in Disentangling Meta-Analysis Results. *Review of Educational Research*, S. 454-499.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK). (2005). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss*. München: Luchterhand
- Shapiro, S., & Wilk, M. (1965). An analysis of variance test for normality. *Biometrika*, S. 591-611.
- Shavelson, R., Yin, Y., Furtak, E., Ruiz-Primo, M. A., Ayala, C., Young, D., . . . Potenger, F. (2008). On the Role and Impact of Formative Assessment on Science Inquiry Teaching and Learning. In J. Coffey, R. Douglas, & C. Stearns, *Assessing Science Learning Perspectives From Research and Practice* (S. 21-36). Washington: NSTA Press.
- Sieberer-Nagler, K. (2016). Neurowissenschaften und Lernen-Welche Faktoren haben Einfluss auf das Lernen? *Lernen und Lernstörungen*, S. 247-253.
- Siebert, H. (2005). *Pädagogischer Konstruktivismus-Lernzentrierte Pädagogik in Schule und Erwachsenenbildung*. Weinheim und Basel: Beltz.
- Skinner, B. F. (1974). *About Behaviorism*. New York: Knopf.
- Sommer, K., & Pfeifer, P. (2019). Ziele des Chemieunterrichts und Chemiedidaktische Leitlinien. In K. Sommer, J. Wambacher-Laicher, & P. Pfeifer, *Konkrete Fachdidaktik Chemie-Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht* (S. 139-174). Hannover: Aulis.
- Spöttl, G. (2011). Kompetenzmodelle als Grundlage für eine valide Kompetenzdiagnostik. In M. Becker, M. Fischer, & G. Spöttl, *Kompetenzdiagnostik in der beruflichen Bildung – Probleme und Perspektiven* (S. 13-39). Frankfurt a. Main: Verlag Peter Lang.
- Spada, H., & Wichmann, S. (1996). Kognitive Determinanten der Schulleistung. In F. E. Weinert, *Psychologie des Lernens und der Instruktion* (S. 119-152). Göttingen: Hogrefe.
- Stäudel, L. (2009). Differenzieren im Chemieunterricht-Eine Herausforderung für Lehrkräfte, Lernende und das Selbstverständnis von Schule. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, S. 8-11.
- Stanat, P., Schipolowski, S., Mahler, N., Weirich, S., & Henschel, S. (2019). *IQB-Bildungstrend 2018. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I im zweiten Ländervergleich*. Münster: Waxmann.
- Steffensky, M., & Neuhaus, B. J. (2018). Unterrichtsqualität im naturwissenschaftlichen Unterricht. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker, *Theorien in der*

- naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 299-313). Berlin: Springer Spektrum.
- Stender, A., Schwichow, M., Zimmermann, C., & Härtig, H. (2018). Making inquiry-based science learning visible: the influence of CVS and cognitive skills on content knowledge learning in guided inquiry. *International Journal of Science Education*, S. 1812-1831.
- Strobl, C. (2015). *Das Rasch-Modell-Eine verständliche Einführung für Studium und Praxis*. München: Rainer Hampp Verlag.
- Sumfleth, E., & Walpuski, M. (2018). Messung der Kompetenz-eine Aufgabe fachdidaktischer Forschung. In K. Sommer, J. Wambach-Laicher, & P. Pfeifer, *Konkrete Fachdidaktik Chemie* (S. 109-116). Seelze: Aulis.
- Sumfleth, E., Nicolai, N., & Rumann, S. (2004). Schulische und häusliche Kooperation in Chemieanfangsunterricht. In J. Doll, & M. Prenzel, *Bildungsqualität von Schule: Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung* (S. 284-302). Münster: Waxmann.
- Tepner, O. (2008). *Effektivität von Aufgaben im Chemieunterricht der Sekundarstufe I*. Berlin: Logos-Verlag.
- Tesch, M., & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht-Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, S. 51-69.
- Tolsdorf, Y., & Markic, S. (2018). Development and Changes in Student Teachers' Knowledge Concerning Diagnostic in Chemistry Teaching - A Longitudinal Case Study. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, S. 1-13.
- Torchiano, M. (2020). Manual zum R-Package "effsize". URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/effsize/effsize.pdf>.
- Trautmann, M., & Wischer, B. (2007). Individuell fördern im Unterricht. Was wissen wir über Innere Differenzierung? *Pädagogik*, S. 44-48.
- Trautmann, M., & Wischer, B. (2011). *Heterogenität in der Schule. Eine kritischer Einführung*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Urban, D., & Mayerl, J. (2018). *Angewandte Regressionsanalyse: Theorie, Technik und Praxis*. Wiesbaden: Springer VS.
- Völzke, K., Arnold, J., & Kremer, K. (2013). Schüler planen und beurteilen ein Experiment – Denken und Verstehen beim naturwissenschaftlichen Problemlösen. *Zeitschrift für interpretative Schul- und Unterrichtsforschung*, S. 58-86.
- van Ackeren, I., Klemm, K., & Kühn, S. M. (2015). *Entstehung, Struktur und Steuerung des deutschen Schulsystems-Eine Einführung*. Wiesbaden: Springer.
- van Schijndel, T., Jansen, B., & Raijmakers, M. (2018). Do individual differences in children's curiosity relate to their inquiry-based learning? *International Journal of Science Education*, S. 996–1015.
- van Vorst, H. (2013). *Kontextmerkmale und ihr Einfluss auf das Schülerinteresse im Fach Chemie*. Berlin: Logos Verlag.

- Vock, M., & Gronostaj, A. (2017). *Umgang mit Heterogenität in Schule und Unterricht*. Berlin: Friedrich-Ebert-Stiftung.
- von Aufschnaiter, C., Cappell, J., Dübbelde, G., Ennemoser, M., Mayer, J., Stiensmeier-Pelster, J., . . . Wolgast, A. (2015). Diagnostische Kompetenz-Theoretische Überlegungen zu einem zentralen Konstrukt der Lehrerbildung. *Zeitschrift für Pädagogik*, S. 738-758.
- von der Groeben, A. (2003). Lernen in heterogenen Lerngruppen. *Pädagogik*, S. 6-9.
- Wagner, L. (2016). Adaptive und evidenzbasierte Förderung im Unterricht-Wozu braucht man das? *Potsdamer Zentrum für empirische Inklusionsforschung (ZEIF)*, S. 1-9.
- Wahser, I. (2007). *Training von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Fach Chemie*. Berlin: Logos-Verlag.
- Walgenbach, K. (2017). *Heterogenität - Intersektionalität - Diversity in der Erziehungswissenschaft*. Opladen: Budrich Verlag.
- Walpuski, M. (2006). *Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback*. Berlin: Logos-Verlag.
- Walpuski, M., & Ropohl, M. (2014). Statistische Verfahren für die Analyse des Einflusses von Aufgabenmerkmalen auf die Schwierigkeit. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker, *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 385-398). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Walpuski, M., & Sumfleth, E. (2009). The Use of Video Data to Evaluate Inquiry Situations in Chemistry Education. In T. Janík, & T. Seidel, *The Power of Video Studies in Investigating Teaching and Learning in the Classroom* (S. 121-133). Münster: Waxmann.
- Walpuski, M., Kauertz, A., Kampa, N., Fischer, H. E., Mayer, J., Sumfleth, E., & Wellnitz, N. (2010). ESNaS-Evaluation der Standards für die Naturwissenschaften in der Sekundarstufe I. In A. Gehrman, U. Hericks, & M. Lüders, *Bildungsstandards und Kompetenzmodelle. Beiträge zu einer aktuellen Diskussion über Schule, Lehrerbildung und Unterricht* (S. 170-184). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Walter, O. (2005). *Kompetenzmessung in den PISA-Studien: Simulationen zur Schätzung von Verteilungsparametern und Reliabilitäten*. Lengerich: Pabst.
- Wang, W.-C., & Chen, C.-T. (2005). Item Parameter Recovery, Standard Error Estimate, and Fit Statistics of the Winsteps Program for the Family of Rasch Models. *Educational and Psychological Measurement*, S. 376-404.
- Weinert, F. E. (2001). *Leistungsmessung in Schulen*. Weinheim: Beltz.
- Wellnitz, N., & Mayer, J. (2013). Erkenntnismethoden in der Biologie – Entwicklung und Evaluation eines Kompetenzmodells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, S. 315-345.
- Wember, F., Michna, D., & Melle, I. (2016). Gestaltung von Unterrichtsmaterialien auf Basis des Universal Design for Learning am Beispiel des Chemieanfangsunterrichts in der Sekundarstufe I. *Sonderpädagogische Förderung*, S. 286-303.

- Wilke, C. O. (2020). *Datenvisualisierung-Grundlagen und Praxis*. Heidelberg: O'Reilly Verlag.
- Wirth, J. (2019). Lern- und entwicklungspsychologische Bedingungen. In K. Sommer, J. Wambacher-Laicher, & P. Pfeifer, *Konkrete Fachdidaktik Chemie* (S. 175-216). Hannover: Aulis Verlag.
- Wirth, J., Thilmann, 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*, S. 361-375.
- Wirtz, M., & Caspar, F. (2002). *Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität*. Göttingen: Hogrefe.
- Wirtz, M., & Nachtigall, C. (2012). *Deskriptive Statistik. Statistische Methoden für Psychologen*. Weinheim: Beltz.
- Yap, B. W., & Sim, C. H. (2011). Comparison of various types of normality tests. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, S. 2141-2155.
- Zöfel, P. (2003). *Statistik für Psychologen: Im Klartext*. München: Pearson.
- Ziegler, M., & Bühner, M. (2012). *Grundlagen der Psychologischen Diagnostik*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Zielinski, W. (1996). Lernschwierigkeiten. In F. E. Weinert, *Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D: Praxisgebiete. Serie I: Pädagogische Psychologie. Band 2: Psychologie des Lernens und der Instruktion* (S. 369-402). Göttingen: Hogrefe.
- Zimmermann, P., Podewski, F., Celik, F., & Iwanski, A. (2018). Emotionale Entwicklung. In A. Lohaus, *Entwicklungspsychologie des Jugendalters* (S. 75-90). Heidelberg: Springer.
- Zulliger, S., & Tanner, S. (2013). Der Begriff Heterogenität in empirischen Studien. *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften*, S. 37-52.

VI.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modell schulischen Lernens nach Caroll (1963) verändert nach Gruehn (2000, S. 6).....	11
Abbildung 2: Prozessmodell des Lernens nach Klauer & Leutner (2012, S. 44)	12
Abbildung 3: Bedingungsfaktoren von Lernschwierigkeiten (verändert nach Heimlich (2016), S. 37).....	15
Abbildung 4: Erkenntnisgewinnung nach dem SDDS-Modell (adaptiert nach Klahr, 2000, S. 37).....	22
Abbildung 5: Angebot-Nutzungs-Modell zur Beschreibung von Unterrichtsqualität (Helmke, 2014, S. 71).....	33

Abbildung 6: Übersicht diagnostischer Anlässe im Unterricht (nach von Aufschnaiter et al., 2015, S. 747).....	39
Abbildung 7: Erste Experimentierbox zur Lernumgebung im Inhaltsfeld „Elektrische Energie aus chemischen Reaktionen“	53
Abbildung 8: Zweite Experimentierbox zur Lernumgebung im Inhaltsfeld „Elektrische Energie aus chemischen Reaktionen“	55
Abbildung 9: Erste Experimentierbox zur Lernumgebung im Inhaltsfeld „Säuren, Laugen und Salze“	57
Abbildung 10: Zweite Experimentierbox zur Lernumgebung im Inhaltsfeld „Säuren, Laugen und Salze“	59
Abbildung 11: Erste Experimentierbox zur Lernumgebung im Inhaltsfeld „Luft und Wasser“	61
Abbildung 12: Zweite Experimentierbox zur Lernumgebung im Inhaltsfeld "Luft und Wasser"	62
Abbildung 13: Schematische Darstellung zur Videographie der Experimentierphasen in dieser Untersuchung.....	65
Abbildung 14: Konkretisiertes Ablaufschema zur Lernprozessanalyse in dieser Untersuchung	71
Abbildung 15: Design zur geankerten Skalierung der Tests zum konzeptbezogenen Fachwissen in der Chemie.....	75
Abbildung 16: Modellfunktion bei der linearen (links) und logistischen (rechts) Regression	80
Abbildung 17: WrightMap zu den kognitiven Grundfähigkeiten	90
Abbildung 18: WrightMap zum konzeptbezogenen Fachwissen zum Thema Batterien	92
Abbildung 19: WrightMap zum konzeptbezogenen Fachwissen zum Thema Ozeanversauerung	92
Abbildung 20: WrightMap zum konzeptbezogenen Fachwissen zum Thema Trinkwasser	92
Abbildung 21: WrightMap zum IRT-skalierten Test zum prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren.....	94
Abbildung 22: WrightMap zum IRT-skalierten Fragebogen zum individuellen Fachinteresse	95
Abbildung 23: Übersicht zur Entwicklung des konzeptbezogenen Fachwissens (Vorstudie).....	96
Abbildung 24: Evaluation der Lernumgebungen durch die Lernenden	97
Abbildung 25: Konkretisiertes Ablaufmodell zur zusammenfassenden Inhaltsanalyse der Lerntätigkeiten.....	99

Abbildung 26: Überblick zur Kodierung von Lerntätigkeiten in MAXQDA 2018 im Rahmen der Untersuchung	100
Abbildung 27: Konkretisiertes Ablaufmodell zur zusammenfassenden Inhaltsanalyse der Schwierigkeiten	104
Abbildung 28: Überblick zur Kodierung von Schwierigkeiten in MAXQDA 2018 im Rahmen der Untersuchung	105
Abbildung 29: Übersicht zur Entwicklung des konzeptbezogenen Fachwissens (Hauptstudie)	119
Abbildung 30: Statistische Verteilung des individuellen Lernerfolgs (absolut)	120
Abbildung 31: Einfluss individueller Lernvoraussetzungen auf den individuellen Lernerfolg	122
Abbildung 32: Einfluss individueller Lerntätigkeiten auf den individuellen Lernerfolg	125
Abbildung 33: Auftreten unterschiedlicher Schwierigkeiten bei Bearbeitung der Experimentieraufgaben	127
Abbildung 34: Einfluss auftretender Schwierigkeiten auf den individuellen Lernerfolg	129
Abbildung 35: Übersicht zu bestehenden Korrelationen zwischen individuellen Lernvoraussetzungen und	131
Abbildung 36: Einfluss individueller Lernvoraussetzungen auf das Auftreten von Schwierigkeiten	133
Abbildung 37: Zusammenhang zwischen dem konzeptbezogenen Fachwissen (Messzeitpunkt 1) und dem Auftreten beobachtbarer Schwierigkeiten	135
Abbildung 38: Zusammenhang zwischen den kognitiven Grundfähigkeiten und dem Auftreten beobachtbarer Schwierigkeiten	136
Abbildung 39: Zusammenhang zwischen dem prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren und dem	137
Abbildung 40: Übersicht bestehender Korrelationen zwischen individuellen Lernvoraussetzungen und	139
Abbildung 41: Einfluss individueller Lernvoraussetzungen auf individuelle Lerntätigkeiten	142
Abbildung 42: Übersicht bestehender Korrelationen zwischen Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten	144
Abbildung 43: Wechselwirkungen zwischen individuellen Lerntätigkeiten und auftretenden Schwierigkeiten	146
Abbildung 44: Übersicht bestehender Korrelationen unter auftretenden Schwierigkeiten	150
Abbildung 45: Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Schwierigkeiten im Experimentierprozess	152

Abbildung 46: Differenzierung unterschiedlicher Leistungsprofile
über den proportionalen und residualen Zusammenhang zwischen dem
konzeptbezogenen Fachwissen zu den Messzeitpunkten 1 und 3 155

VI.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bedeutsame Lernaktivitäten in der Phase der Planung..... 22

Tabelle 2: Bedeutsame Lernaktivitäten in der Phase der Durchführung 23

Tabelle 3: Bedeutsame Lernaktivitäten in der Phase der Auswertung 24

Tabelle 4: Typische Schwierigkeiten und Fehler bei der
eigenständigen Planung von Experimenten..... 26

Tabelle 5: Typische Schwierigkeiten und Fehler bei der
eigenständigen Durchführung von Experimenten 27

Tabelle 6: Typische Schwierigkeiten und Fehler bei der
eigenständigen Auswertung von Experimenten 27

Tabelle 7: Übersicht zur Organisation der eingesetzten
Messverfahren in der Untersuchung 50

Tabelle 8: Übersicht zur inhaltlichen Ausrichtung
der eingesetzten Lernumgebungen 52

Tabelle 9: Inhaltliche Zielsetzung der ersten Experimentieraufgabe (A1) zur
Lernumgebung im Inhaltsfeld „Elektrische Energie aus chemischen Reaktionen“ 54

Tabelle 10: Inhaltliche Zielsetzung der zweiten Experimentieraufgabe (A2) zur
Lernumgebung im Inhaltsfeld „Elektrische Energie aus chemischen Reaktionen“ 56

Tabelle 11: Inhaltliche Zielsetzung der ersten Experimentieraufgabe (B1) zur
Lernumgebung im Inhaltsfeld „Säuren, Laugen und Salze“ 58

Tabelle 12: Inhaltliche Zielsetzung der zweiten Experimentieraufgabe (B2) zur
Lernumgebung im Inhaltsfeld „Säuren, Laugen und Salze“ 59

Tabelle 13: Inhaltliche Zielsetzung der ersten Experimentieraufgabe (C1) zur
Lernumgebung im Inhaltsfeld „Luft und Wasser“ 61

Tabelle 14: Inhaltliche Zielsetzung der zweiten Experimentieraufgabe (C2) zur
Lernumgebung im Inhaltsfeld „Luft und Wasser“ 63

Tabelle 15: Übersicht zur eingesetzten Skala "Kognitive Grundfähigkeiten" 66

Tabelle 16: Übersicht zur eingesetzten Skala
"Konzeptbezogenes Fachwissen Chemie" 67

Tabelle 17: Testheftdesign zur Erfassung des
konzeptbezogenen Fachwissens Chemie 68

Tabelle 18: Übersicht zur eingesetzten Skala
"Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren" 68

Tabelle 19: Übersicht zu den eingesetzten Fragebögen "Affektive Faktoren"	69
Tabelle 20: In der Untersuchung herangezogene Wertebereiche zur Beurteilung der Signifikanz	77
Tabelle 21: In der Untersuchung herangezogene Wertebereiche zur Beurteilung von Effektstärken	77
Tabelle 22: Korrelationskoeffizienten in Abhängigkeit des Skalenniveaus	78
Tabelle 23: In der Untersuchung herangezogene Wertebereiche zur Beurteilung von Korrelationen	79
Tabelle 24: In der Untersuchung herangezogene Wertebereiche zur Beurteilung von Regressionskoeffizienten	81
Tabelle 25: Integrierte Übersicht zu qualitätssichernden Maßnahmen in der qualitativen und quantitativen Forschung	82
Tabelle 26: Bewertungskriterien für Beobachterübereinstimmungen	84
Tabelle 27: Bewertungskriterien für die Testreliabilität anhand eines Reliabilitätskoeffizienten ρ	84
Tabelle 28: Stichprobe der Vorstudie im Vergleich zur Bildungsbeteiligung von Schülerinnen und Schülern der 9. Jahrgangsstufe in Nordrhein-Westfalen im Schuljahr 2017/18 an allgemeinbildenden Schulformen	88
Tabelle 29: Datenstruktur in der Vorstudie	89
Tabelle 30: Übersicht zur Güte des Tests zu den kognitiven Grundfähigkeiten (Vorstudie)	90
Tabelle 31: Übersicht zur Güte der Tests zum konzeptbezogenen Fachwissen in der Chemie (Vorstudie)	91
Tabelle 32: Übersicht zur Güte der Tests zum prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren (Vorstudie)	94
Tabelle 33: Übersicht zur Güte der Fragebögen zum individuellen Fachinteresse (Vorstudie)	95
Tabelle 34: Weiterführende Analyse der Entwicklung im konzeptbezogenen Fachwissen (Vorstudie)	96
Tabelle 35: Spezifische Anzahl beobachtbarer Lerntätigkeiten bei der Bearbeitung der eingesetzten	101
Tabelle 36: Kategoriensystem zur systematischen Beschreibung von Lernaktivitäten beim Lernen mit	101
Tabelle 37: Spezifische Anzahl beobachtbarer, themenspezifischer Schwierigkeiten und Fehler bei der	106
Tabelle 38: Kategoriensystem zur systematischen Beschreibung von Schwierigkeiten beim Lernen mit	106
Tabelle 39: Kodierschema zur Evaluation des Auswertungsverfahrens	108

Tabelle 40: Übersicht der Güte eingesetzter Verfahren zur Lernprozessdiagnostik in der Vorstudie	109
Tabelle 41: Stichprobe der Hauptstudie im Vergleich zur Bildungsbeteiligung von Schülerinnen und Schülern der 9. Jahrgangsstufe in Nordrhein-Westfalen im Schuljahr 2018/19 an allgemeinbildenden Schulformen	116
Tabelle 42: Datenstruktur in der Hauptstudie	116
Tabelle 43: Reliabilitäten der eingesetzten Messinstrumente zur Leistungsdiagnostik in der Hauptstudie	117
Tabelle 44: Übersicht der Güte eingesetzter Verfahren zur Lernprozessdiagnostik in der Hauptstudie	118
Tabelle 45: Übersicht über relevante Prädiktoren in der Untersuchung	121
Tabelle 46: Korrelationen zwischen dem individuellen Lernerfolg und individuellen Lernvoraussetzungen	122
Tabelle 47: Modellparameter zu den Wirkungszusammenhängen in Abbildung 31	122
Tabelle 48: Korrelationen zwischen dem individuellen Lernerfolg und individuellen Lerntätigkeiten	123
Tabelle 49: Modellparameter zu den Wirkungszusammenhängen in Abbildung 32	124
Tabelle 50: Korrelationen zwischen dem individuellen Lernerfolg und auftretenden Schwierigkeiten	127
Tabelle 51: Modellparameter zu den Wirkungszusammenhängen in Abbildung 34	128
Tabelle 52: Modellparameter zu den Wirkungszusammenhängen in Abbildung 36	132
Tabelle 53: Modellparameter zu den Wirkungszusammenhängen in Abbildung 41	141
Tabelle 54: Modellparameter zu den Wirkungszusammenhängen in Abbildung 43	145
Tabelle 55: Differenzierte Übersicht zu den gefundenen Beziehungen zwischen Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten	149
Tabelle 56: Modellparameter zu den Wirkungszusammenhängen in Abbildung 45	151
Tabelle 57: Differenzierte Übersicht zu den gefundenen Beziehungen zwischen verschiedenen Schwierigkeiten	153
Tabelle 58: Bildung von Leistungsgruppen auf der Grundlage des absoluten und residualen Lernerfolgs	155
Tabelle 59: Verteilung der Schülerinnen und Schüler unterschiedlicher Leistungsgruppen auf verschiedene Schultypen	156

Tabelle 60: Ausprägungen der individuellen Lernvoraussetzungen innerhalb der Leistungsgruppen	156
Tabelle 61: Auftreten unterschiedlicher Schwierigkeiten innerhalb der Leistungsgruppen	157
Tabelle 62: Differenzierte Bedeutsamkeit von Schwierigkeiten für den individuellen Lernerfolg	159
Tabelle 63: Ausprägungen individueller Lernvoraussetzungen von Schülerinnen und Schüler in Abhängigkeit der bearbeiteten Lernumgebung	160
Tabelle 64: Auftreten unterschiedlicher Schwierigkeiten innerhalb der Lernumgebungen	160

VI.4 Formelverzeichnis

Formel 1: Modellgleichung für den logistischen Zusammenhang der Lösungswahrscheinlichkeit eines Items in Abhängigkeit von Item- und Personenparameter im dichotomen Rasch-Modell (vgl. Rasch, 1960)	75
Formel 2: Gleichungen zur Berechnung von Lernerfolg in der vorliegenden Untersuchung	78
Formel 3: Gleichung zur Berechnung von Cohens κ zur Beobachterübereinstimmung (Cohen, 1960).....	83
Formel 4: Gleichung zur Berechnung der Reliabilität von geschätzten WLE-Parametern (Adams, 2005).....	84

VI.5 Abkürzungsverzeichnis

KMK	Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland
MSW-NRW	Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen
PISA	Programme for International Student Assessment
IQB	Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
Thema A	Lernumgebung zum Inhaltsfeld „Elektrische Energie aus chemischen Reaktionen“ bestehend aus den Experimentieraufgaben A1 und A2
Thema B	Lernumgebung zum Inhaltsfeld „Säuren, Laugen und Salze“ bestehend aus den Experimentieraufgaben B1 und B2

Thema C	Lernumgebung zum Inhaltsfeld „Luft und Wasser“ bestehend aus den Experimentieraufgaben C1 und C2
κ	Cohens Kappa zur Beobachterübereinstimmung
ξ	Parameter für die Schwierigkeit eines Items im Rasch-Modell (Itemparameter)
ϑ	Parameter für die Fähigkeit einer Person im Rasch-Modell (Personenparameter)
<i>MML</i>	Marginal-Maximum-Likelihood
<i>WLE</i>	Weighted-Likelihood-Estimates
<i>wMNSQ</i>	weighted Mean Square (Infit-MNSQ)
r_{it}	Itemtrennschärfe
σ^2	Schätzer für die Varianz eines Merkmals innerhalb einer Stichprobe
σ	Schätzer für die Standardabweichung eines Merkmals innerhalb einer Stichprobe
ρ	Reliabilitätskoeffizient
$\hat{\sigma}^2$	Standardfehler für den Schätzer eines Merkmals innerhalb einer Stichprobe
d_{Cohen}	Effektstärkemaß Cohens d
r_P	Korrelation nach Pearson
r_{pbis}	Punktbiseriale Korrelation
φ	Phi-Koeffizient
\bar{x}	Mittelwert aller Ausprägungen von Merkmal x

VII ANHANG

VII.1 Lernmaterial

Materialübersicht Experimentieraufgabe A1

Chemikalien	Chemikalien	Laborgeräte	Kartenmaterial
<ul style="list-style-type: none"> • Citronensäure <i>Schnappdeckelglas</i> • Dest. Wasser <i>Weithalsflasche PET 50 ml</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Kupferrohrstück <i>Kupfermuffe 28 mm</i> • Eisenelektrode <i>ohne Anschluss</i> • Eisenrohrstück <i>Eisenrohr 28 mm</i> • Kupferelektrode <i>ohne Anschluss</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Bechergläser (100 ml) • 1 Pipette (3 ml) • 1 Mini-Voltmeter <i>1,5 – 0 – 1,5 V; DC</i> • 2 kurze Kabel (<i>einfarbig</i>) • 4 Krokodilklemmen (<i>einfarbig</i>) • 1 Folienstift • 1 Spatel 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgabenkarte A1 • Info-Karte A1.1

Materialübersicht Experimentieraufgabe A2

Chemikalien	Chemikalien	Laborgeräte	Kartenmaterial
<ul style="list-style-type: none"> • Citronensäure-Lösung <i>Weithalsflasche PET 50 ml</i> • Dest. Wasser <i>Weithalsflasche PET 50 ml</i> • Kupferrohrstück <i>Kupfermuffe 28 mm</i> • Eisenrohrstück <i>Eisenrohr 28 mm</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Kupferelektrode <i>mit Anschluss</i> • Eisenelektrode <i>mit Anschluss</i> • Zinkelektrode <i>mit Anschluss</i> • Magnesiumelektrode <i>mit Anschluss</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Becherglas (100 ml) • 2 Pipetten (3 ml) • 1 Mini-Voltmeter <i>0 – 3 V; DC</i> • 2 kurze Kabel (<i>1x rot, 1x blau</i>) • 2 Krokodilklemmen (<i>2x rot, 2x blau</i>) • 1 Folienstift 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgabenkarte A2 • Info-Karte A2.1 • Info-Karte A2.2 • Info-Karte A2.3

Materialübersicht Experimentieraufgabe B1

Chemikalien	Chemikalien	Laborgeräte	Kartenmaterial
<ul style="list-style-type: none"> • Dest. Wasser (auf pH 7 überprüfen!) • Merck-Indikator 4,0-10,0 <i>Tropfflasche 25 ml</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Kohlenstoffdioxid <i>abgefüllt in 20 ml Spritze</i> • Sauerstoff <i>abgefüllt in 20 ml Spritze</i> • Stickstoff <i>abgefüllt in 20 ml Spritze</i> • Argon <i>abgefüllt in 20 ml Spritze</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Reagenzglasständer • 5 Reagenzgläser (lang) • 5 Stopfen • 1 Pipette (3 ml) • 1 Folienstift 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgabenkarte B1 • Info-Karte B1.1 • Info-Karte B1.2

Materialübersicht Experimentieraufgabe B2

Chemikalien	Chemikalien	Laborgeräte	Kartenmaterial
<ul style="list-style-type: none"> • Natriumchlorid <i>Schnappdeckelglas</i> • Natriumsulfat <i>Schnappdeckelglas</i> • Natriumhydrogencarbonat <i>Schnappdeckelglas</i> • Natriumcarbonat <i>Schnappdeckelglas</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Kohlenstoffdioxid <i>abgefüllt in vier 5 ml Spritzen</i> • Dest. Wasser <i>Weithalsflasche PET 250 ml</i> • Merck-Indikator 4,0-10,0 <i>Tropfflasche 25 ml</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Reagenzglasständer • 8 Reagenzgläser (lang) • 8 Stopfen • 4 Bechergläser (klein) • 5 Pipetten (3 ml) • 1 Folienstift 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgabenkarte B2 • Info-Karte B2.1 • Info-Karte B2.2 • Info-Karte B2.3

Materialübersicht Experimentieraufgabe C1

<i>Chemikalien</i>		<i>Laborgeräte</i>	<i>Kartenmaterial</i>
<ul style="list-style-type: none"> Mineralwasser A (Gerolsteiner) Schnappdeckelglas Mineralwasser B (Bella Fontanis) Schnappdeckelglas Mineralwasser C (Volvic) Schnappdeckelglas 	<ul style="list-style-type: none"> Dest. Wasser Weithalsflasche PET 50 ml Kaliumoxalat-Lösung Tropfflasche 50 ml 	<ul style="list-style-type: none"> 1 Reagenzglasständer 4 Reagenzgläser (kurz) 4 Stopfen 4 Pipetten (1 ml) 1 Folienstift 	<ul style="list-style-type: none"> Aufgabenkarte C1 Info-Karte C1.1 Zusatz C1_a (Mineralstoff-Tabelle Gerolsteiner) Zusatz C1_b (Mineralstoff-Tabelle Bella Fontanis) Zusatz C1_c (Mineralstoff-Tabelle Volvic)

Materialübersicht Experimentieraufgabe C2

<i>Chemikalien</i>		<i>Laborgeräte</i>	<i>Kartenmaterial</i>
<ul style="list-style-type: none"> Vergleichsprobe 1 (Nitrit: 0 mg/l) 4 ml in Schnappdeckelglas Vergleichsprobe 2 (Nitrit: 0,01 mg/l) 4 ml in Schnappdeckelglas Vergleichsprobe 3 (Nitrit: 0,05 mg/l) 4 ml in Schnappdeckelglas Vergleichsprobe 4 (Nitrit: 0,1 mg/l) 4 ml in Schnappdeckelglas Vergleichsprobe 5 (Nitrit: 0,5 mg/l) 4 ml in Schnappdeckelglas Vergleichsprobe 6 (Nitrit: 1 mg/l) 4 ml in Schnappdeckelglas 	<ul style="list-style-type: none"> Griess-Reagenz Tropfflasche 25 ml Wasserprobe (Nitrit: 0,5 mg/l) Weithalsflasche PET 50 ml Dest. Wasser Weithalsflasche PET 50 ml 	<ul style="list-style-type: none"> 2 leere Schnappdeckelgläser mit Deckel 3 Pipetten (1 ml) 	<ul style="list-style-type: none"> Aufgabenkarte C2 Info-Karte C2.1 Info-Karte C2.2 Info-Karte C2.3

VII.1.1 Lernumgebung zum Thema Batterien

Lernmaterial zur ersten Experimentieraufgabe zum Thema Batterien

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

Aufgabe A1

Elektrische Energie aus chemischen Reaktionen



Im Jahr 1936 wurde in der Nähe der Stadt Bagdad ein verschlossenes Tongefäß gefunden. Im Inneren des Tongefäßes fand man neben einem Metallrohr und einem Metallstab auch weiße Salzablagerungen. Das Alter des Tongefäßes wird auf etwa 2000 Jahre geschätzt.

Über die Verwendung des Tongefäßes ist bisher wenig bekannt. Allerdings wird vermutet, dass mit einer geeigneten Anordnung aller Teile elektrischer Strom erzeugt worden sein könnte.



Untersucht mit Hilfe der Materialien in der Box, wie der innere Aufbau aussehen muss, um elektrischen Strom erzeugen zu können.

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

Information



A1.1

Eine Batterie besteht immer aus zwei Elektroden und einer Elektrolyt-Lösung.

Batterien bezeichnet man auch als elektrochemische Energiespeicher.

Im Inneren jeder Batterie findet eine chemische Reaktion statt, bei der chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt wird.



Lernmaterial zur zweiten Experimentieraufgabe zum Thema Batterien

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

Aufgabe A2

Elektrische Energie aus chemischen Reaktionen



Schon vor etwa 2000 Jahren konnten Menschen mit Hilfe einfacher Batterien elektrischen Strom erzeugen. An dem Aufbau und der Funktionsweise hat sich im Laufe der Zeit nur wenig verändert. Allerdings kann man Batterien heute in unterschiedlichen Formen und Größen kaufen.

Wie viel elektrischen Strom eine Batterie liefert, hängt vor allem vom Material der Elektroden ab. Dazu werden unterschiedliche Metalle verwendet, von denen ihr einige in der heutigen Box findet.



1 Untersucht mit Hilfe der Materialien in der Box zunächst, in welcher Reihenfolge man die verschiedenen Metalle ordnen kann.

2 Erläutert anschließend, in welchen Eigenschaften sich der Pluspol und der Minuspol in einer Batterie unterscheiden.

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

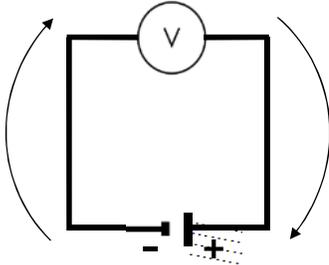
Information



A2.1

Eine Batterie ist eine Stromquelle für Gleichstrom. Bei der Benutzung einer Batterie ist es daher wichtig, auf den richtigen Anschluss von Pluspol und Minuspol zu achten.

Elektrischer Strom ist die Bewegung geladener Teilchen (z. B. Elektronen). In einem Stromkreis bewegen sich die geladenen Teilchen vom Minuspol zum Pluspol.



UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN
Offen im Denken

Information

 A2.2

Die elektrische Spannung ist ein Maß dafür, wie groß der Ladungsunterschied zwischen dem Pluspol und dem Minuspol ist. Die elektrische Spannung wird in Volt (V) gemessen.

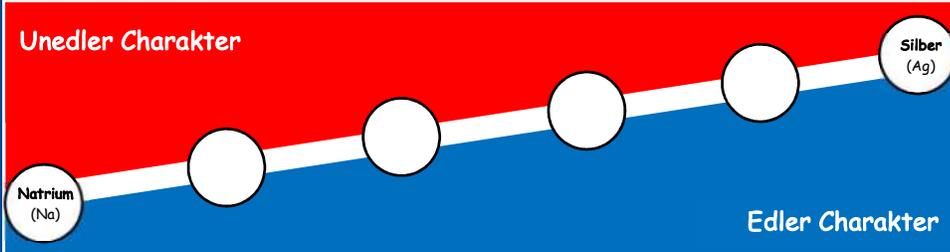
Pluspol: Positiv geladene Elektrode **Minuspol:** Negativ geladene Elektrode

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN
Offen im Denken

Information

 A2.3

Eine wichtige Eigenschaft von Metallen ist der edle und unedle Charakter.



Unedler Charakter

Edler Charakter

Natrium (Na)

Silber (Ag)

Metalle mit einem starken unedlen Charakter (z. B. Natrium) sind besonders reaktiv. In chemischen Reaktionen geben unedle Metalle leicht Elektronen ab.

V1.2 Lernumgebung zum Thema Ozeanversauerung

Lernmaterial zur ersten Experimentieraufgabe zum Thema Ozeanversauerung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN
Offen im Denken

Aufgabe B1

Säuren, Laugen und Salze



Auf der Erde bestimmen Luft und Wasser unser Leben. Zwischen der Luft in der Atmosphäre und dem Wasser auf der Erdoberfläche findet ein Austausch statt, an dem verschiedene Gase aus der Luft beteiligt sind.

Im Wasser wirkt sich dieser Austausch besonders auf den pH-Wert aus, der für viele Wasser-Lebewesen von großer Bedeutung ist. Besonders die zunehmende Veränderung des pH-Werts in den Ozeanen hat weitreichende Folgen.

Untersucht mit Hilfe der Materialien in der Box, was die Ursache für die Veränderung des pH-Werts der Ozeane ist.

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN
Offen im Denken

Information

B1.1

Der pH-Wert ist ein Maß für den sauren und basischen Charakter einer Lösung.

Bezeichnung	gelöster Stoff	Vorkommen im Alltag
Salzsäure	HCl	Magensäure
Kohlensäure	H_2CO_3	Mineralwasser
Schwefelsäure	H_2SO_4	Autobatterien
Natronlauge	$NaOH$	Abflussreiniger

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN
Offen im Denken

Information

B1.2

Farbreaktion des pH-Indikators



sauer
neutral
basisch

Lernmaterial zur zweiten Experimentieraufgabe zum Thema Ozeanversauerung

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

Aufgabe B2

Säuren, Laugen und Salze



Korallenriffe zählen zu den artenreichsten Lebensräumen auf der Erde. Eine wichtige Grundlage für das Leben im Korallenriff bilden verschiedene Mineralstoffe, die im Meerwasser gelöst sind.

Einige dieser Mineralstoffe besitzen die Eigenschaft, die saure Wirkung des Kohlendioxids auf natürliche Weise zu regulieren. Das ist allerdings nur begrenzt möglich. Die Folgen des steigenden Kohlendioxid-Gehalts sind schon heute zu beobachten und werden unter dem Begriff der Ozeanversauerung diskutiert.

 **1** Untersucht mit Hilfe der Materialien in der Box zunächst, welche Mineralstoffe den pH-Wert im Meerwasser regulieren.

2 Erläutert anschließend, welche Gemeinsamkeiten die Mineralstoffe besitzen, die den pH-Wert im Meerwasser regulieren.

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

Information



B2.1

Der Begriff „Ozeanversauerung“ beschreibt das Absinken des pH-Werts im Ozean.

In den letzten Jahrzehnten ist der Kohlendioxid-Gehalt in der Luft immer weiter gestiegen. Dadurch ist der pH-Wert des Meerwassers von 8,3 auf 8,1 gesunken. Diese Veränderungen im pH-Wert des Meerwassers bezeichnet man als **Ozeanversauerung**. Dabei wird das Meerwasser nicht sauer, sondern weniger basisch.

Ursache:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Steigender Kohlendioxid-Gehalt in der Luft
Folgen:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Der pH-Wert im Meerwasser sinkt leicht ▪ Der Carbonat-Gehalt im Meerwasser sinkt

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

Information



B2.2

Ein Liter Meerwasser enthält unter anderem folgende Mineralstoffe:

Natrium (Na^+)	10,7 g	Natrium ist ein Element aus der Gruppe der Alkalimetalle.
Chlorid (Cl^-)	19,25 g	Chloride sind die Salze der Salzsäure (HCl).
Sulfat (SO_4^{2-})	2,7 g	Sulfate sind die Salze der Schwefelsäure (H_2SO_4).
Hydrogencarbonat (HCO_3^-)	0,14 g	Hydrogencarbonate sind die Salze der Kohlensäure (H_2CO_3).
Carbonat (CO_3^{2-})	0,015 g	Carbonate sind die Salze der Kohlensäure (H_2CO_3).

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

Information



B2.3

Farbreaktion des pH-Indikators



4
4,5
5
5,5
6
6,5
7
7,5
8
8,5
9
9,5
10

sauer
neutral
basisch

V1.3 Lernumgebung zum Thema Trinkwasser

Lernmaterial zur ersten Experimentieraufgabe zum Thema Trinkwasser

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN
Offen im Denken

Aufgabe C1

Luft und Wasser



Kein Erfrischungsgetränk ist in Deutschland so beliebt wie Mineralwasser: Im Laufe eines Jahres trinkt jeder von uns durchschnittlich 150 Liter Mineralwasser.

Im Handel findet man viele verschiedene Mineralwasser-Sorten, die sich in Geschmack und Mineralstoffgehalt stark voneinander unterscheiden.

Untersucht mit Hilfe der Materialien in der Box, welche Mineralwasser-Sorte zu welcher Mineralwasser-Probe gehört.

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN
Offen im Denken

Information

C1.1

Eine wichtige Stoffeigenschaft von Salzen ist die Wasserlöslichkeit. Wenn ein Salz nicht wasserlöslich ist, dann wird die Lösung trüb.

Eine besondere Gruppe von Salzen sind die **Oxalate**. Manche Oxalate sind in Wasser löslich, andere überhaupt nicht.

wasserlöslich	
Kaliumoxalat	✓
Natriumoxalat	✓
Calciumoxalat	✗
Strontiumoxalat	✗

Gerolsteiner <i>Naturell (Still)</i> <small>Angaben in mg/l</small>	Fontanis <i>Naturell (Still)</i> <small>Angaben in mg/l</small>	Volvic <i>Naturell (Still)</i> <small>Angaben in mg/l</small>
Hydrogencarbonat (HCO ₃ ⁻) 652	Sulfat (SO ₄ ²⁻) 1490	Hydrogencarbonat (HCO ₃ ⁻) 74
Calcium (Ca ²⁺) 140	Calcium (Ca ²⁺) 601	Chlorid (Cl ⁻) 15
Magnesium (Mg ²⁺) 49	Hydrogencarbonat (HCO ₃ ⁻) 394	Natrium (Na ⁺) 12
Sulfat (SO ₄ ²⁻) 20	Magnesium (Mg ²⁺) 83	Calcium (Ca ²⁺) 12
Natrium (Na ⁺) 12	Chlorid (Cl ⁻) 32	Sulfat (SO ₄ ²⁻) 9
Chlorid (Cl ⁻) 9	Natrium (Na ⁺) 30	Magnesium (Mg ²⁺) 8
Kalium (K ⁺) 3	Kalium (K ⁺) 8	Kalium (K ⁺) 6
Mineralwasser <input type="radio"/>	Mineralwasser <input type="radio"/>	Mineralwasser <input type="radio"/>

Lernmaterial zur zweiten Experimentieraufgabe zum Thema Trinkwasser

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

Aufgabe C2

Luft und Wasser



Mineralwasser wird aus unterirdischen Quellen gewonnen. Neben wichtigen Mineralstoffen gelangen über den Boden aber auch Schadstoffe wie Nitrit in das Wasser. Eine Ursache dafür ist die intensive Landwirtschaft.

In der Nähe eines nicht mehr aktiven Vulkans wurde eine Wasser-Quelle entdeckt, die besonders viele Mineralstoffe enthält. In einer Vielzahl von Wasseranalysen wurden bereits viele Schadstoffe untersucht. Auf eine Verschmutzung mit Nitrit wurde die Quelle allerdings noch nicht untersucht.



1 Untersucht mit Hilfe der Materialien in der Box zunächst, wie man den Nitrit-Gehalt einer Wasserprobe bestimmen kann.

2 Bestimmt den Nitrit-Gehalt in der Wasser-Quelle und bewertet anschließend euer Ergebnis mit Hilfe des entsprechenden Grenzwertes.

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

Information



C2.1

Schadstoff-Steckbrief:	Nitrit
Chemische Formel:	NO_2^-
Ursachen der Verschmutzung:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abwasser aus der Industrie und dem Haushalt ▪ landwirtschaftlich genutzte Flächen (z. B. gedüngte Böden)
Gesundheitliche Gefahren:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ stört in größeren Mengen den Sauerstofftransport im Blut ▪ ist an der Bildung krebserregender Nitrosamine beteiligt

In Deutschland wird die Qualität von Wasser-Quellen anhand **vorgeschriebener Grenzwerte** beurteilt.

Für jeden Schadstoff gibt es einen eigenen Grenzwert.

Die Angabe über den **maximal erlaubten Gehalt (Grenzwert)** eines Schadstoffes findet man in der Mineralwasserverordnung.

Schadstoff	Chemische Formel	vorgeschriebener Grenzwert
Ammonium	NH_4^+	0,5 mg/L
Barium	Ba^{2+}	1 mg/L
Blei	Pb^{2+}	0,01 mg/L
Nitrat	NO_3^-	50 mg/L
Nitrit	NO_2^-	0,1 mg/L

Nachweis von Nitrit-Ionen im Wasser (entwickelt von Peter Griess, 1858)



Griess

1. Zur Wasserprobe werden 10 Tropfen Griess-Reagenz getropft.
2. Die Wasserprobe wird nur leicht geschüttelt.
3. Nach etwa 1 min kann der Nachweis ausgewertet werden.

Inhaltsstoffe der Griess-Reagenz:

Essigsäure, Sulfanilsäure, N-(1-Naphthyl)ethylendiamin

VII.2 Eingesetzte Testhefte

VII.2.1 Angaben zur Itembezeichnung

Skala	Vorstudie		Hauptstudie		
	<i>Kognitive Grundfähigkeiten</i>	<i>Itemanzahl</i>	<i>Itemcodes</i>	<i>Itemanzahl</i>	<i>Itemcodes</i>
Figurales Denken, N-Skala (Heller & Perleth, 2000)		25	KFT_20, KFT_21, KFT_22, KFT_23, KFT_24, KFT_25, KFT_26, KFT_27, KFT_28, KFT_29, KFT_30, KFT_31, KFT_32, KFT_33, KFT_34, KFT_35, KFT_36, KFT_37, KFT_38, KFT_37, KFT_38, KFT_41, KFT_42, KFT_43, KFT_44	25	KFT_20, KFT_21, KFT_22, KFT_23, KFT_24, KFT_25, KFT_26, KFT_27, KFT_28, KFT_29, KFT_30, KFT_31, KFT_32, KFT_33, KFT_34, KFT_35, KFT_36, KFT_37, KFT_38, KFT_37, KFT_38, KFT_41, KFT_42, KFT_43, KFT_44

Skala	Vorstudie		Hauptstudie		
	<i>Konzeptbezogenes Fachwissen in der Chemie</i>	<i>Itemanzahl</i>	<i>Itemcodes</i>	<i>Itemanzahl</i>	<i>Itemcodes</i>
Wissen zu chemischen Kernideen (Celik, i.V.)		9	SDM7_K8_I1, CR7_K3_I7, E7_K1_I4, SDM9_K1_I3, E7_K1_I2, SDM7_K2_I3, E9_K5_I1, CR9_K5_I4, CR7, K5_I2,	15	SDM7_K8_I1, CR7_K3_I7, E7_K1_I4, SDM9_K1_I3, E7_K1_I2, SDM7_K2_I3, E9_K5_I1, CR9_K5_I4, CR7, K5_I2, CR7_K1_I1, CR7_K2_I1, E7_K5_I4, E7_K3_I1, SDM7_K11_I1, SDM7_K2_I5
Spezifisches Wissen zum Thema „Batterien“ (eigene Entwicklung)		10	A1.1_I, A1.1_II, A1.2_I, A1.2_II, A2.1_I, A2.1_II, A2.2_I, A2.2_II, A2.3_I, A2.3_II	20	A1.1_I, A1.1_II, A1.2_I, A1.2_II, A2.1_I, A2.1_II, A2.2_I, A2.2_II, A2.3_I, A2.3_II, AX_1, AX_2, AX_3, AX_4, AX_5, AX_6, AX_7, AX_8, AX_9, AX_10
Spezifisches Wissen zum Thema „Ozeanversauerung“ (eigene Entwicklung)		10	B1.1_I, B1.1_II, B1.2_I, B1.2_II, B2.1_I, B2.1_II, B2.2_I, B2.2_II, B2.3_I, B2.3_II	20	B1.1_I, B1.1_II, B1.2_I, B1.2_II, B2.1_I, B2.1_II, B2.2_I, B2.2_II, B2.3_I, B2.3_II, BX_1, BX_2, BX_3, BX_4, BX_5, BX_6, BX_7, BX_8, BX_9, BX_10
Spezifisches Wissen zum Thema „Trinkwasser“ (eigene Entwicklung)		10	C1.1_I, C1.1_II, C1.2_I, C1.2_II, C2.1_I, C2.1_II, C2.2_I, C2.2_II, C2.3_I, C2.3_II	20	C1.1_I, C1.1_II, C1.2_I, C1.2_II, C2.1_I, C2.1_II, C2.2_I, C2.2_II, C2.3_I, C2.3_II, CX_1, CX_2, CX_3, CX_4, CX_5, CX_6, CX_7, CX_8, CX_9, CX_10

Skala	Vorstudie		Hauptstudie	
	<i>Itemanzahl</i>	<i>Itemcodes</i>	<i>Itemanzahl</i>	<i>Itemcodes</i>
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren				
Wissen zu naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen (Mannel, 2011)	9	NAW_T_L, NAW_T_M1, NAW_T_M2, NAW_P_L, NAW_P_M1, NAW_P_M2, NAW_S_L, NAW_S_M1, NAW_S_M2	9	NAW_T_L, NAW_T_M1, NAW_T_M2, NAW_P_L, NAW_P_M1, NAW_P_M2, NAW_S_L, NAW_S_M1, NAW_S_M2
Wissen zu naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen (Koenen, 2014)	3	NAW_T_H, NAW_P_H, NAW_S_H	3	NAW_T_H, NAW_P_H, NAW_S_H

Skalen	Vorstudie		Hauptstudie	
	<i>Itemanzahl</i>	<i>Itemcodes</i>	<i>Itemanzahl</i>	<i>Itemcodes</i>
Affektive Faktoren				
Skala zum individuellen Interesse (Fechner, 2009)	7	fin_2, fin_3, sin_1, sin_3, inm_1, sin_4, sin_6	7	fin_2, fin_3, sin_1, sin_3, inm_1, sin_4, sin_6
Skala zum Cognitive Load (Koenen, 2014)	2	Vstd_1, WDenk_1	2	Vstd_1, WDenk_1

VII.2.1 Testhefte zum konzeptbezogenen Fachwissen

Test zum Thema Batterien



	-			-		•	
Schulcode		die ersten beiden Buchstaben deines Vornamens	die letzten beiden Buchstaben deines Nachnamens		Geburtstag (1 – 31)		Geburtsmonat (1 – 12)

Ich bin ein ...	<input type="checkbox"/> Junge	<input type="checkbox"/> Mädchen	<input type="checkbox"/> keine Angabe			
Wie alt bist du?	<input type="checkbox"/> 13	<input type="checkbox"/> 14	<input type="checkbox"/> 15	<input type="checkbox"/> 16	<input type="checkbox"/> 17	
Meine letzte Chemienote:	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6
Welche Sprache sprichst du zuhause?	<input type="checkbox"/> deutsch	<input type="checkbox"/> eine andere, nämlich			
					

----- Du darfst erst weiterblättern, wenn du dazu aufgefordert wirst -----

Teil 2

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

Teil 2 besteht aus zwei Tests:

Im Test 2a geht es um dein Wissen über Chemie. Der Test besteht aus 15 Aufgaben (1 bis 15).

Im Test 2b geht es um das Thema „Batterien“. Der Test besteht aus 20 Aufgaben (16 bis 35).

Lies dir jede Aufgabe gut durch und kreuze die richtige Antwort an.

Bitte bearbeite alle Aufgaben nacheinander!

Wenn du eine deiner Antworten verbessern willst, dann
fülle das Kästchen vollständig aus und kreuze eine andere
Antwort an:

- Antwortmöglichkeit 1
- Antwortmöglichkeit 2
- Antwortmöglichkeit 3
- Antwortmöglichkeit 4

Wichtig: Bei jeder Aufgabe ist immer nur eine Antwort richtig.

Bitte bearbeite alle Aufgaben.

Test 2b

16 In welcher Einheit wird die elektrische Spannung einer Batterie gemessen?

AX_10

- Volt (V)
 - Ampere (A)
 - Watt (W)
 - Ohm (Ω)
-

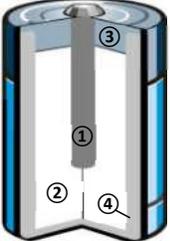
17 Eine Batterie ist eine Stromquelle für ...

AX_8

- Gleichstrom
 - Wechselstrom
 - Minusstrom
 - Plusstrom
-

A1.2_1

18 In der Abbildung sieht man den inneren Aufbau einer Batterie.
Die Elektroden der Batterie findet man ...



- nur bei ①
- nur bei ③
- bei ① und ④
- bei ② und ③

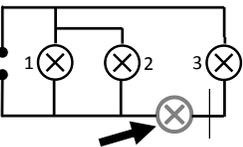
AX_6

19 Elektrischer Strom ...

- ist die Bewegung von geladenen Teilchen.
- ist die Entstehung von geladenen Teilchen.
- ist die Anziehung von geladenen Teilchen.
- ist die Vernichtung von geladenen Teilchen.

AX_5

20 Wenn die markierte Lampe (⊗) kaputt geht, dann ...



- leuchtet nur noch Lampe 1.
- leuchten nur noch Lampe 1 und Lampe 2.
- leuchten nur noch Lampe 1 und Lampe 3.
- leuchtet gar keine Lampe mehr.

21 Mit einem Voltmeter ...

AX_2

- kann man eine elektrische Spannung einstellen
 - kann man eine elektrische Spannung verändern.
 - kann man eine elektrische Spannung messen.
 - kann man eine elektrische Spannung erzeugen.
-

22 Welche Aussage über Metalle stimmt?

AX_4

- Edle Metalle sind besser verformbar als unedle Metalle.
 - Unedle Metalle sind besser leitfähig als edle Metalle.
 - Edle Metalle sind stärker magnetisch als unedle Metalle
 - Unedle Metalle sind reaktiver als edle Metalle.
-

23 Die Elektroden einer Batterie bestehen immer aus ...

A1.1_1

- zwei identischen Flüssigkeiten
 - zwei identischen Metallen
 - zwei unterschiedlichen Flüssigkeiten
 - zwei unterschiedlichen Metallen
-

24 Woher stammt der elektrische Strom einer Batterie?

A2.1_1

- Aus einem physikalischen Prozess.
 - Aus einer chemischen Reaktion.
 - Aus der Elektrolyt-Lösung.
 - Aus dem elektrischen Leiter.
-

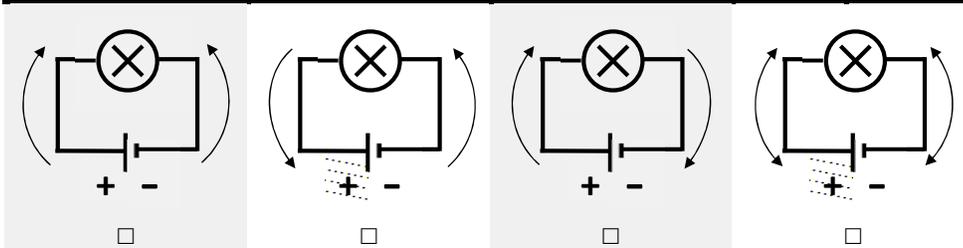
25 Welches der folgenden Metalle ist am stärksten unedel?

A2.2_I

- Kupfer
- Eisen
- Magnesium
- Zink

26 Welche Abbildung zeigt die richtige Bewegung der Ladungsträger?

AX_9



27 Die Höhe der Spannung einer Batterie ...

A2.3_II

- hängt vom Abstand der Elektroden ab.
- hängt vom Material der Elektroden ab.
- hängt von der Menge an Elektrolyt-Lösung ab.
- hängt von der Masse der Elektroden ab.

28 Destilliertes Wasser wird elektrisch leitfähig, wenn ...

AX_I

- man etwas Kochsalz hinzugibt.
- man das Wasser etwas erwärmt.
- man etwas Eisenpulver hinzugibt.
- man eine Stromquelle anschließt.

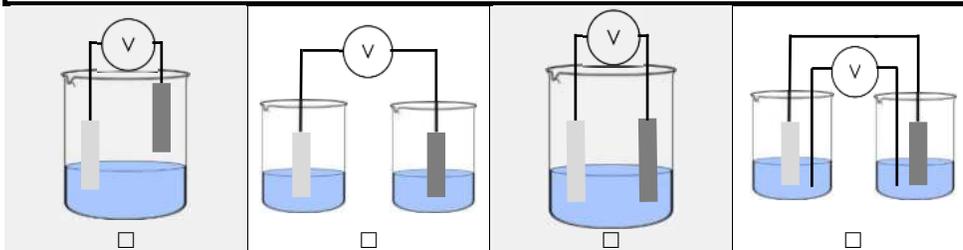
29 Welche Aussage über den Pluspol einer Batterie stimmt?

AX_7

- Der Pluspol ist immer positiv geladen.
- Der Pluspol ist immer negativ geladen.
- Der Pluspol ist immer magnetisch.
- Der Pluspol ist immer ungeladen.

30 Bei welchem Aufbau lässt sich am Messgerät \odot eine elektrische Spannung messen?

A1.2_II



31 Welche Aussage über die Metalle Zink und Kupfer stimmt?

A2.2_II

- Kupfer ist unedler als Zink.
- Zink ist unedler als Kupfer.
- Zink und Kupfer sind unedle Metalle.
- Zink und Kupfer sind edle Metalle.

32 In einer Batterie befindet sich eine Elektrolyt-Lösung, damit ...

A1.1_II

- die Batterie nicht austrocknen kann.
- der Stromkreis geschlossen wird.
- die Elektroden geschützt werden.
- die Batterie länger benutzbar ist.

33 Der Minuspol einer Batterie ...

A2.3_I

- muss immer die Form einer Röhre haben.
- muss immer die Form eines Stabes haben.
- besteht immer aus dem edleren Metall.
- besteht immer aus dem unedleren Metall.

34 Eine Batterie liefert keinen elektrischen Strom mehr, wenn ...

AX_3

- der Pluspol einer Batterie erwärmt wird.
- der Minuspol einer Batterie gekühlt wird.
- sich der Pluspol und der Minuspol bewegen.
- sich der Pluspol und der Minuspol berühren.

35 Bei der Benutzung einer Batterie ...

A2.1_II

- wird elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt.
- wird chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt.
- wird chemische Energie in Wärmeenergie umgewandelt.
- wird Wärmeenergie in chemische Energie umgewandelt.

Test zum Thema Ozeanversauerung

Thema B (Pre)





	-			-		•	
Schulcode		die ersten beiden Buchstaben deines Vornamens	die letzten beiden Buchstaben deines Nachnamens		Geburtstag (1 – 31)		Geburtsmonat (1 – 12)

Ich bin ein ...	<input type="checkbox"/> Junge	<input type="checkbox"/> Mädchen	<input type="checkbox"/> keine Angabe
Wie alt bist du?	<input type="checkbox"/> 13	<input type="checkbox"/> 14	<input type="checkbox"/> 15 <input type="checkbox"/> 16 <input type="checkbox"/> 17
Meine letzte Chemienote:	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6
Welche Sprache sprichst du zuhause?	<input type="checkbox"/> deutsch	<input type="checkbox"/> eine andere, nämlich

----- Du darfst erst weiterblättern, wenn du dazu aufgefordert wirst -----

Teil 2

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

Teil 2 besteht aus zwei Tests:

Im Test 2a geht es um dein Wissen über Chemie. Der Test besteht aus 15 Aufgaben (1 bis 15).

Im Test 2b geht es um das Thema „Ozeanversauerung“. Der Test besteht aus 20 Aufgaben (16 bis 35).

Lies dir jede Aufgabe gut durch und kreuze die richtige Antwort an.

Bitte bearbeite alle Aufgaben nacheinander!

Wenn du eine deiner Antworten verbessern willst, dann
fülle das Kästchen vollständig aus und kreuze eine andere
Antwort an:

- Antwortmöglichkeit 1
- Antwortmöglichkeit 2
- Antwortmöglichkeit 3
- Antwortmöglichkeit 4

Wichtig: Bei jeder Aufgabe ist immer nur eine Antwort richtig.

Test 2b

16 Welche Aussage über Luft und Wasser stimmt?

B1.1.1

- Die Luft hat einen Einfluss auf die Farbe des Wassers.
 - Ein Austausch zwischen Luft und Wasser findet nur im Sommer statt.
 - Die Luft hat einen Einfluss auf den pH-Wert des Wassers.
 - Zwischen der Luft und dem Wasser findet kein Austausch statt.
-

17 Das Sprudeln einer Mineralwasserflasche entsteht durch ...

BX_7

- Sauerstoff
 - Luftblasen
 - Kohlenstoffdioxid
 - Wasserstoff
-

18 Verschiedene Mineralstoffe im Meerwasser sorgen dafür, dass ...

B2.1_I

- Meerwasser eine leicht basische Lösung ist.
- Meerwasser eine leicht saure Lösung ist.
- Meerwasser eine leicht neutrale Lösung ist.
- Meerwasser eine leicht bläuliche Lösung ist.

19 Den pH-Wert einer Lösung ...

BX_8

- kann man durch die Farbreaktion mit einem Indikator verfälschen.
- kann man durch die Zugabe eines Indikators herstellen.
- kann man durch die Zugabe eines Indikators verändern.
- kann man durch die Farbreaktion mit einem Indikator bestimmen.

20 Eine Lösung mit einem pH-Wert von 5 ...

BX_6

- ist eine basische Lösung
- ist eine saure Lösung
- ist eine neutrale Lösung.
- eine süße Lösung.

21 Die Wirkung des Kohlenstoffdioxids auf das Meerwasser ...

B2.3_I

- wird durch die Wirkung der Sulfat-Ionen aufgehoben.
- wird durch die Wirkung der Chlorid-Ionen aufgehoben.
- wird durch die Wirkung der Natrium-Ionen aufgehoben.
- wird durch die Wirkung der Carbonat-Ionen aufgehoben.

22 Welche Aussage über den pH-Wert einer Lösung stimmt?

BX_2

- Der pH-Wert ist abhängig von der verwendeten Menge des Indikators.
 - Der pH-Wert ist ein Maß für den sauren oder basischen Charakter einer Lösung.
 - Der pH-Wert kann nur für Säuren und saure Lösungen bestimmt werden.
 - Der pH-Wert kann nur für Basen und basische Lösungen bestimmt werden.
-

23 Carbonat-Ionen ...

B2.2_II

- bilden im Wasser eine basische Lösung.
 - bilden im Wasser eine saure Lösung.
 - bilden im Wasser eine neutrale Lösung.
 - bilden im Wasser eine süße Lösung.
-

24 Wenn man Sauerstoff in Wasser löst, dann ...

B2.1_II

- bildet sich eine saure Lösung.
 - bildet sich eine basische Lösung.
 - bleibt die Lösung neutral.
 - wird die Lösung rot.
-

25 Ein steigender Kohlendioxid-Gehalt in der Luft sorgt dafür, dass ...

B1.1_II

- der pH-Wert im Wasser weiter sinkt.
 - der pH-Wert im Wasser weiter steigt.
 - sich der pH-Wert im Wasser stabilisiert.
 - sich der pH-Wert nicht ändern kann.
-

26 Mit Hilfe eines Säure-Base-Indikators ...

BX_1

- können Säuren und Basen schnell hergestellt werden.
- können Säuren und Basen sichtbar gemacht werden.
- können Säuren und Basen unschädlich gemacht werden.
- können Säuren und Basen miteinander vermischt werden.

27 Welches Gas reagiert sauer, wenn es in Wasser gelöst wird?

B1.2_I

- Stickstoff
- Kohlendioxid
- Sauerstoff
- Argon

28 Neutrale Lösungen ...

BX_4

- besitzen einen pH-Wert von 0.
- besitzen einen pH-Wert von 5.
- besitzen einen pH-Wert von 7.
- besitzen überhaupt keinen pH-Wert.

29 Unter dem Begriff „Ozeanversauerung“ versteht man ...

B2.3_II

- das Aussterben bedrohter Tierarten.
- die Veränderung des pH-Werts im Meerwasser.
- die Veränderung der Temperatur im Meerwasser.
- die Abnahme des Salzgehalts im Meerwasser.

30 Welche Ionen wirken sich auf den pH-Wert des Meerwassers aus?

B2.2.1

- Sulfat-Ionen
 - Chlorid-Ionen
 - Natrium-Ionen
 - Hydrogencarbonat-Ionen
-

31 Bei einer chemischen Neutralisation ...

BX_5

- bildet sich eine Lösung mit deutlich kleinerem pH-Wert.
 - wird nur der saure Charakter einer Lösung aufgehoben.
 - wird nur der basische Charakter einer Lösung aufgehoben.
 - heben sich der saure und der basische Charakter gegenseitig auf.
-

32 Eine Lösung aus Natriumcarbonat (NaCO_3) ...

BX_3

- enthält ungeladene Natrium-Atome (Na) und ungeladene Carbonat-Atome (CO_3)
 - enthält positiv geladene Natrium-Ionen (Na^+) und ungeladene Carbonat-Atome (CO_3).
 - enthält ungeladene Natrium-Atome (Na) und negativ geladene Carbonat-Ionen (CO_3^{2-}).
 - enthält positiv geladene Natrium-Ionen (Na^+) und negativ geladene Carbonat-Ionen (CO_3^{2-}).
-

33 Ursache für die Versauerung der Ozeane ...

BX_10

- ist die weltweite Erwärmung der tropischen Ozeane.
 - ist der sinkende Sauerstoff-Gehalt im Meerwasser.
 - ist der steigende Kohlendioxid-Gehalt in der Luft.
 - ist die zunehmende Verschmutzung durch Plastikmüll.
-

34 Womit kann man eine saure Lösung neutralisieren?

BX_9

- Mit einer sauren Lösung.
 - Mit einer basischen Lösung.
 - Mit einer süßen Lösung.
 - Mit einer salzigen Lösung.
-

35 Welcher Stoff entsteht beim Lösen von Kohlendioxid in Wasser?

B1.2_II

- Sauerstoff
 - Kohlensäure
 - Kohlenstoff
 - Kohlenhydrat
-

Test zum Thema Trinkwasser

Thema C (Pre)



Interdisziplinäres Zentrum
für Bildungsforschung



UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

	-			-		•	
Schulcode		die ersten beiden Buchstaben deines Vornamens	die letzten beiden Buchstaben deines Nachnamens		Geburtstag (1 – 31)		Geburtsmonat (1 – 12)

Ich bin ein ...	<input type="checkbox"/> Junge	<input type="checkbox"/> Mädchen	<input type="checkbox"/> keine Angabe			
Wie alt bist du?	<input type="checkbox"/> 13	<input type="checkbox"/> 14	<input type="checkbox"/> 15	<input type="checkbox"/> 16	<input type="checkbox"/> 17	
Meine letzte Chemienote:	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6
Welche Sprache sprichst du zuhause?	<input type="checkbox"/> deutsch	<input type="checkbox"/> eine andere, nämlich			
					

----- Du darfst erst weiterblättern, wenn du dazu aufgefordert wirst -----

Teil 2

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

Teil 2 besteht aus zwei Tests:

Im Test 2a geht es um dein Wissen über Chemie. Der Test besteht aus 15 Aufgaben (1 bis 15).

Im Test 2b geht es um das Thema „Mineralwasser“. Der Test besteht aus 20 Aufgaben (16 bis 35).

Lies dir jede Aufgabe gut durch und kreuze die richtige Antwort an.

Bitte bearbeite alle Aufgaben nacheinander!

Wenn du eine deiner Antworten verbessern willst, dann
fülle das Kästchen vollständig aus und kreuze eine andere
Antwort an:

- Antwortmöglichkeit 1
- Antwortmöglichkeit 2
- Antwortmöglichkeit 3
- Antwortmöglichkeit 4

Wichtig: Bei jeder Aufgabe ist immer nur eine Antwort richtig.

Bitte bearbeite alle Aufgaben.

Test 2b

16 Welche Aussage zu Mineralstoffen im Mineralwasser ist richtig?

C1.1_1

- Der Gehalt an Mineralstoffen ist in jeder Mineralwasser-Sorte gleich.
- Verschiedene Mineralwasser-Sorten enthalten unterschiedliche Mineralstoffe.
- Stilles Wasser enthält überhaupt keine gelösten Mineralstoffe.
- Mineralwasser muss immer eine bestimmte Menge Kohlensäure enthalten.

17 In welcher Einheit wird der Mineralstoffgehalt im Mineralwasser angegeben?

CX_8

- mg (Milligramm)
 - L (Liter)
 - mg/L (Milligramm pro Liter)
 - mL/g (Milliliter pro Gramm)
-

18 Wenn sich ein Salz nicht mehr im Wasser löst, dann ...

CX_1

- erwärmt sich die Lösung.
- wird die Lösung farblos.
- schäumt die Lösung.
- wird die Lösung trüb.

19 Bei der Analyse einer Wasserprobe ist die Intensität der Farbreaktion abhängig ...

C2.2_II

- von der Konzentration eines Stoffes im Wasser.
- von der Dichte der Nachweis-Chemikalie.
- von der Temperatur der Wasserprobe.
- von der verwendeten Menge der Wasserprobe.

20 Welchen Stoff im Wasser kann man mit Kaliumoxalat nachweisen?

C1.2_II

- Kalium
- Calcium
- Nitrit
- Säuren

21 Die Qualität einer Wasserprobe ...

CX_4

- lässt sich anhand eines einzigen Grenzwertes eines Schadstoffes im Trinkwasser sicher beurteilen.
- lässt sich anhand verschiedener Grenzwerte unterschiedlicher Schadstoffe sicher beurteilen.
- lässt sich mit Hilfe einer mehrfach durchgeführten Geschmacksprobe eindeutig beurteilen.
- lässt sich mit Hilfe einer mehrfach durchgeführten Geruchsprobe eindeutig beurteilen.

22 Der Nitrit-Gehalt ...

C2.1_II

- ist die empfohlene Menge an Nitrit-Ionen im Wasser.
 - ist die maximal erlaubte Menge an Nitrit-Ionen im Wasser.
 - ist die minimal notwendige Menge an Nitrit-Ionen im Wasser.
 - ist die genaue Menge an Nitrit-Ionen in einem Liter Wasser.
-

23 Wie gelangen Mineralstoffe in das Mineralwasser?

CX_9

- Die Mineralstoffe werden erst beim Abfüllen des Wassers hinzugegeben.
 - Die Mineralstoffe sind bereits im Regenwasser enthalten.
 - Das Mineralwasser nimmt die Mineralstoffe über den Boden auf.
 - Das Mineralwasser nimmt die Mineralstoffe nur aus Pflanzendüngern auf.
-

24 In welcher Form kommt Magnesium im Mineralwasser vor?

C1.1_II

- Als negativ geladene Magnesium-Ionen (Mg^{2-})
 - Als ungeladene Magnesium-Atome (Mg)
 - Als positiv geladene Magnesium-Ionen (Mg^{2+})
 - Als ungeladene Magnesium-Moleküle (Mg_2)
-

25 Wird eine Lösung mit einem Nitrit-Gehalt von 1 mg/L mit destilliertem Wasser vermischt ...

CX_7

- sinkt der Nitrit-Gehalt der Lösung.
 - steigt der Nitrit-Gehalt der Lösung.
 - bleibt der Nitrit-Gehalt der Lösung gleich.
 - verdoppelt sich der Nitrit-Gehalt.
-

26 Welcher Ablauf beschreibt ein Verfahren zur Bestimmung des Nitrit-Gehalts? C2.2_1

(A)	(B)	(C)	(D)	(E)

- erst (D) dann (A)
- erst (D) dann (C)
- erst (B) dann (D) dann (C)
- erst (B) dann (D) dann (E)

27 Welcher Grenzwert gilt für den Nitrit-Gehalt im Trinkwasser? C2.3_II

- 0 mg/L
- 0,1 mg/L
- 1 mg/L
- 10 mg/L

28 Mit welcher Substanz kann man Nitrit im Wasser nachweisen? CX_10

- Nitrit-Lösung
- Universal-Indikator
- Grieß-Reagenz
- Kaliumoxalat-Lösung

29 In 2 Litern Wasser werden 10 Gramm Salz gelöst. Die Lösung hat dann einen Salzgehalt von ... CX_3

- 0,2 g/L
 - 5 g/L
 - 10 g/L
 - 20 g/L
-

30 Als Grenzwert bezeichnet man ... CX_2

- den maximal erlaubten Gehalt eines Stoffes im Wasser.
 - den minimal notwendigen Gehalt eines Stoffes im Wasser.
 - den maximal möglichen Gehalt eines Stoffes im Wasser.
 - den minimal messbaren Gehalt eines Stoffes im Wasser.
-

31 Je stärker sich Mineralwasser nach Zugabe von Kaliumoxalat trübt, desto ... C1.2_1

- niedriger ist der Kaliumgehalt im Mineralwasser.
 - mehr Sauerstoff enthält das Mineralwasser.
 - weniger Kohlensäure enthält das Mineralwasser.
 - höher ist der Calciumgehalt im Mineralwasser.
-

32 Welche Aussage über die Verschmutzung von Trinkwasser stimmt? CX_5

- Schadstoffe führen immer zu einer bräunlichen Trübung des Wassers.
 - Auch eine farblose Wasserprobe kann mit Schadstoffen verschmutzt sein.
 - Schadstoffe sind im Wasser gelöst und bilden daher immer farbige Lösungen.
 - Eine farblose Wasserprobe ist immer frei von gefährlichen Schadstoffen.
-

33 Nitrit ...

C2.1_1

- ist ein besonders wichtiger Mineralstoff im Mineralwasser.
 - ist ein gesundheitsschädlicher Stoff im Mineralwasser.
 - ist wichtig für die Bildung von Kohlensäure im Mineralwasser.
 - ist wegen der Kohlensäure nicht im Mineralwasser löslich.
-

34 Einer der Hauptursachen für Nitrit im Wasser...

CX_6

- sind stark gedüngte Felder.
 - ist verschmutztes Regenwasser.
 - sind Waldbrände im Sommer.
 - ist lang anhaltende Trockenheit.
-

35 Damit aus einer Wasser-Quelle Mineralwasser abgefüllt werden darf, ...

C2.3_1

- muss der Nitrit-Gehalt mindestens den vorgeschriebenen Grenzwert für Nitrit erreichen.
 - darf der Nitrit-Gehalt im Wasser nicht größer als 0 mg/L sein.
 - muss der Nitrit-Gehalt mindestens einen Wert von 1 mg/L erreichen.
 - darf der Nitrit-Gehalt den vorgeschriebenen Grenzwert für Nitrit nicht überschreiten.
-

VII.3 Dokumente zur Datenerhebung

Datenschutzerklärung

**Umgang mit Leistungsunterschieden beim Experimentieren im Chemieunterricht**

Liebe Eltern,

im Chemieunterricht werden Experimente häufig dazu genutzt, um neues Wissen zu erarbeiten. Jede Schülerin und jeder Schüler lernt dabei jedoch auf eine ganz individuelle Art und Weise. Das im Chemieunterricht zu berücksichtigen stellt oft eine große Herausforderung dar.

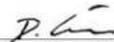
Im Rahmen meines Dissertationsprojekts im Bereich der Chemiedidaktik möchte ich daher der Frage nachgehen, wie genau Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren individuell lernen. Dazu werden im regulären Chemieunterricht spezielle Experimentieraufgaben eingesetzt. Die Aufgaben bearbeiten die Schülerinnen und Schüler selbstständig und in Kleingruppen.

Während der Videoaufnahme erhält jede Schülerin und jeder Schüler einen individuellen Zeichencode. Mit diesem Zeichencode werden die Ergebnisse aus den Leistungstests mit den Videodaten in Beziehung gesetzt. Damit wird eine Pseudonymisierung der Daten vorgenommen. Die Videodaten selbst werden im Anschluss daran kategoriengeleitet ausgewertet. Abschließend erfolgt in einem letzten Schritt die Zusammenführung aller verarbeiteten Daten zu einem finalen pseudonymisierten Datensatz, mit dem statistische Analysen durchgeführt werden. Dieser Datensatz wird dauerhaft gespeichert und nur mit Personen geteilt, die ein wissenschaftliches Interesse an den Daten haben.

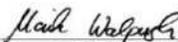
Sämtliche Daten werden auf institutseigenen Servern gespeichert. Darauf Zugriff haben nur die mit dem Projekt direkt befassten Wissenschaftler. Rohdaten (Videodaten und ausgefüllte Tests) müssen zu Kontrollzwecken für 10 Jahre aufbewahrt und anschließend vernichtet werden. Innerhalb der 10 Jahre ist eine Löschung von Rohdaten unter Angabe des individuellen Zeichencodes möglich. Eine Löschung von Daten aus dem finalen pseudonymisierten Datensatz ist aus Gründen guter wissenschaftlicher Praxis und Nachvollziehbarkeit nicht möglich.

Ich würde mich sehr freuen, wenn Sie mich bei meinem Forschungsprojekt unterstützen würden und die unten abgebildete Einverständniserklärung Ihrem Kind unterschrieben mit zur Schule zu geben. Bei Rückfragen stehe ich Ihnen selbstverständlich jederzeit zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen


Dennis Kirstein


Dr. Sebastian Habig
(Projektbetreuung)


Prof. Dr. Maik Walpuski
(Projektbetreuung)

✂

Einverständniserklärung

Hiermit erklären wir NAME D. ERZIEHUNGSBERECHTIGTEN und NAME D. SCHÜLERIN/SCHÜLERS uns mit der Erhebung und Nutzung von personenbezogenen Daten zu dem Forschungsprojekt in folgenden Punkten einverstanden:

- Wir haben die oben stehenden Informationen zur Kenntnis genommen.
- Wir stimmen der Teilnahme an der Studie grundsätzlich zu (keine Videoaufzeichnung, lediglich anonyme Teilnahme im Rahmen des regulären Chemieunterrichts).
- Wir stimmen der Erhebung von Videodaten, die im Rahmen des Forschungsprojekts verarbeitet und ausgewertet werden, zu.
- Die Daten dürfen im Rahmen der universitären Lehrerbildung in Lehrveranstaltungen (kurze Videosequenzen in Seminare und Vorlesungen) an der Universität Duisburg-Essen verwendet werden.

Ort, Datum

Unterschrift d. Schülerin/Schülers

Unterschrift d. Erziehungsberechtigten

Dissertationsprojekt

Dennis Kirstein

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Arbeitsgruppe
Prof. Dr. Maik Walpuski

Fakultät für Chemie
Didaktik der Chemie

Tel.: 0201 - 183 - 6780
Fax: 0201 - 183 - 3149

dennis.kirstein@uni-due.de

SL 208
Schützenbahn 70
45127 Essen

Essen, Juni 2019

www.uni-due.de

Manuale zur Datenerhebung

Manual zur Datenerhebung
 (Leistungsdaten)
**Messzeitpunkt 1**

Zeit	Testmaterial	Instruktionsanweisungen
6 + 9 min	Testheft KFT	<p>Kurzvorstellung des Projekts und des Ablaufs</p> <p>Vorstellung des Stundenablaufs:</p> <p>Austeilen der Testhefte mit dem Hinweis, diese nicht zu öffnen</p> <p>Gemeinsames Ausfüllen der Lernencodes: Es wird an der Tafel am Beispiel des Testleitenden der Lernencode generiert (ggf. einzelne Lernende dabei unterstützen)</p> <p>Erläuterung des Testformats: Es wird eine Bildfolge vorgegeben. Ausgehend davon soll entschieden werden, welches der Bilder in den Antwortmöglichkeiten die Bildfolge korrekt fortsetzt. (Erläuterung am Beispielitem)</p> <p>Hinweise zur Korrektur von Antworten kurz besprechen.</p> <p>Zeitliche Vorgaben von 9 min deutlich kommunizieren: Die Lernenden dürfen erst das Testheft öffnen und bearbeiten, sobald die Zeit gestartet wird (Timer stellen, mit Hinweis auf letzte Minute)</p> <p>Bei Ablauf der Zeit die Lernenden dazu auffordern, bei nicht vollständiger Bearbeitung einen Strich unter das zuletzt bearbeitete Item setzen.</p>
5 min	Testheft Thema A (Pre) Teil 1 Testheft Thema B (Pre) Teil 1 Testheft Thema C (Pre) Teil 1	<p>Lernende dazu auffordern, den demographischen Fragebogen auszufüllen (vgl. Deckblatt)</p> <p>Ausfüllen des Lernencodes (ggf. einzelne Lernende dabei unterstützen)</p> <p>Lernende dazu auffordern, den Fragebogen zu affektiven Faktoren auszufüllen (Teil 1): Genau lesen und Entscheidungen spontan treffen.</p> <p>Hinweis auf eindeutige Zustimmung (nicht zwischen den Kästchen kreuzen)</p>
25 min	Testheft Thema A (Pre) Teil 2 Testheft Thema B (Pre) Teil 2 Testheft Thema C (Pre) Teil 2	<p>Lernende dazu auffordern, Einführungsseite zu Teil 2 aufzuschlagen.</p> <p>Erläuterung des Testformats: In dem Test geht es um das Wissen über Chemie. Der Test besteht aus zwei Teilen. Beide Teile werden gleich direkt nacheinander ohne Pause bearbeitet. Insgesamt sind 35 Aufgaben zu bearbeiten. Bei jeder Aufgabe muss die richtige Antwort aus einer Auswahl von vier Antwortmöglichkeiten ausgewählt werden. Es ist immer nur genau eine Antwort richtig. Die Aufgaben müssen der Reihe nach bearbeitet werden, es darf nicht zu einer zurückliegenden Aufgaben zurückgekehrt werden.</p> <p>Hinweise zur Korrektur von Antworten kurz ansprechen.</p> <p>Hinweis auf eindeutige Zustimmung (nicht zwischen den Kästchen kreuzen, bei Nichtwissen die vermutete Antwort ankreuzen)</p>

Manual zur Datenerhebung
(Leistungsdaten)




5 +10 min	Testheft Thema A (Pre) Teil 3 Testheft Thema B (Pre) Teil 3 Testheft Thema C (Pre) Teil 3	Lernende dazu auffordern, Einführungsseite zu Teil 3 aufzuschlagen. Erläuterung des Testformats: In dem Test geht es um das Wissen über das Experimentieren. Insgesamt sind 12 Aufgaben zu bearbeiten. In jeder Aufgabe wird eine kurze Situation beschrieben, zu der ein passendes Experiment, eine passende Beobachtung oder eine passende Schlussfolgerung ausgewählt werden müssen. Bei jeder Aufgabe muss die richtige Antwort aus einer Auswahl von vier Antwortmöglichkeiten ausgewählt werden. Es ist immer nur genau eine Antwort richtig. Die Aufgaben müssen der Reihe nach bearbeitet werden, es darf nicht zu einer zurückliegenden Aufgaben zurückgekehrt werden. Hinweise zur Korrektur von Antworten kurz ansprechen. Hinweis auf eindeutige Zustimmung (nicht zwischen den Kästchen kreuzen, bei Nichtwissen die vermutete Antwort ankreuzen)
1 min	Testheft KFT Testheft Thema A (Pre) Testheft Thema B (Pre) Testheft Thema C (Pre)	Die Lernenden sollen die Testhefte auf Vollständigkeit prüfen. Die Testhefte werden vom Testleitenden eingesammelt.

Manual zur Datenerhebung
(Leistungsdaten)



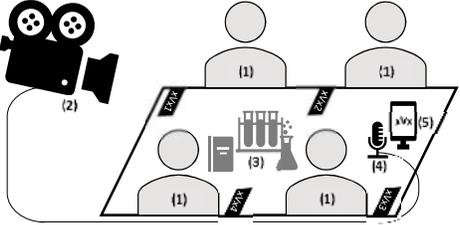
Messzeitpunkt 3

Zeit	Testmaterial	Instruktionsanweisungen
5 min	Testheft Thema A (Post) Deckblatt Testheft Thema B (Post) Deckblatt Testheft Thema C (Post) Deckblatt	Ausfüllen des Lernendencodes (ggf. einzelne Lernende dabei unterstützen) Lernende dazu auffordern, das Deckblatt auszufüllen: Genau lesen und Entscheidungen spontan treffen. Hinweis auf eindeutige Zustimmung (nicht zwischen den Kästchen kreuzen) Hinweis auf Eintragung der Gruppenzugehörigkeit (siehe Individualcode auf den Tischen)
25 min	Testheft Thema A (Post) Teil 1 Testheft Thema B (Post) Teil 1 Testheft Thema C (Post) Teil 1	Lernende dazu auffordern, Einführungsseite zu Teil 1 aufzuschlagen. Erläuterung des Testformats: In dem Test geht es um das Wissen über Chemie. Der Test besteht aus zwei Teilen. Beide Teile werden gleich direkt nacheinander ohne Pause bearbeitet. Insgesamt sind 35 Aufgaben zu bearbeiten. Bei jeder Aufgabe muss die richtige Antwort aus einer Auswahl von vier Antwortmöglichkeiten ausgewählt werden. Es ist immer nur genau eine Antwort richtig. Die Aufgaben müssen der Reihe nach bearbeitet werden, es darf nicht zu einer zurückliegenden Aufgaben zurückgekehrt werden. Hinweise zur Korrektur von Antworten kurz ansprechen. Hinweis auf eindeutige Zustimmung (nicht zwischen den Kästchen kreuzen, bei Nichtwissen die vermutete Antwort ankreuzen)
1 min	Testheft Thema A (Pre) Testheft Thema B (Pre) Testheft Thema C (Pre)	Die Lernenden sollen die Testhefte auf Vollständigkeit prüfen. Die Testhefte werden vom Testleitenden eingesammelt.

Manual zur Datenerhebung (Prozessdaten)



Messzeitpunkt 2

Zeit	Material	Instruktionsanweisungen
Vor Beginn der Datenerhebung	Videokameras mit Stativen Tischmikrofone Videoequipment (Kabel, Steckdosenleisten, Ladegeräte) Beschriftungsmaterial (Klebeband, Aufsteller, Stift)	<p>Im Klassenraum werden Tischgruppen zusammengestellt. Es wird folgendes Setting zur Videoaufnahme aufgebaut:</p>  <p>(2) Videokamera mit Stativ (4) Tischmikrofon (an Kamera angeschlossen) (5) Gruppencode (in Aufsteller)</p> <p>An jeden Sitzplatz wird passend zum Gruppencode ein fortlaufender Individualcode vergeben. (Wird für alle Arbeitsplätze umgesetzt)</p> <p>Ausrichtung der Kamera: Die Kamera filmt die Tischmitte von schräg oben. Der Abstand von Tisch zu Kamera ist so zu wählen, dass alle Lernenden bei normaler Sitzhaltung optimal von der Kamera erfasst werden. Das Tischmikrofon wird an die Kamera angeschlossen und mittig auf dem Tisch platziert. Die Kameras werden mit einem Ladegerät verbunden. Die verlegten Kabel werden mit Klebeband gesichert.</p>
Stunde 1		
5 min	Vorbereitete Arbeitsplätze	Die Lernenden werden von der testleitenden Person in den Raum gebracht. Lernende mit Einwilligung zur Videoaufnahme werden auf die Videoarbeitsplätze verteilt. Lernende ohne vorliegende Einwilligung werden an kamerafreie Arbeitsplätze gesetzt.

Manual zur Datenerhebung (Prozessdaten)



10 min	Vorbereitete Arbeitsplätze	<p>Kurze Vorstellung des Stundenverlaufs Hinweise zu Datenschutz: Individualcode als Möglichkeit zur Löschung von Daten ansprechen (Lernende sollen diesen notieren); Lernende müssen an ihrem Arbeitsplatz sitzen bleiben</p> <p>Kurze Einführung in das Arbeiten mit den Experimentierboxen: In der Box ist eine Aufgabe, die mit Hilfe des Materials und passenden Experimenten bearbeitet werden muss. Es gibt keine Anleitung oder Versuchsvorschrift, Lernende entscheiden selbst, wie etwas bearbeitet oder untersucht wird. Für die Bearbeitung stehen 25 min Zeit zur Verfügung.</p> <p>Experimentsspezifische Sicherheitsunterweisung: Austeilen der Schutzbrillen (Lernende werden dazu aufgefordert, die Schutzbrillen während der gesamten Stunde die Schutzbrillen zu tragen) Erinnerung an im Unterricht bereits erarbeitete Regeln zum sicheren Arbeiten</p> <p>Experimentierbox A1: Bei Kontakt mit der Citronensäure betroffene Stelle mit viel Wasser spülen. Experimentierbox B1: Gase in den Spritzen nicht einatmen. Bei Kontakt mit dem Indikator mit viel Wasser spülen. Experimentierbox C1: Kaliumoxalat-Lösung wirkt reizend. Bei Hautkontakt mit viel Wasser spülen.</p>
2 min	Vorbereitete Arbeitsplätze Experimentierboxen	<p>Austeilen der Experimentierboxen (mit Hinweis, diese geschlossen zu halten)</p> <p>Starten der Videoaufzeichnung.</p>
25 min	Vorbereitete Arbeitsplätze Experimentierboxen	Lernende bearbeiten die ausgeteilte Experimentierbox.
2 min	Vorbereitete Arbeitsplätze Experimentierboxen	<p>Beenden der Videoaufzeichnung. Einsammeln der Experimentierboxen. Lernende dazu auffordern, den Individualcode aufzuschreiben.</p>
Stunde 2		
5 min	Vorbereitete Arbeitsplätze	Die Lernenden werden von der testleitenden Person in den Raum gebracht. Lernende mit Einwilligung zur Videoaufnahme werden auf die Videoarbeitsplätze verteilt. Lernende ohne vorliegende Einwilligung werden an kamerafreie Arbeitsplätze gesetzt.

**Manual zur Datenerhebung
(Prozessdaten)**



10 min	Vorbereitete Arbeitsplätze	<p>Kurze Vorstellung des Stundenverlaufs Hinweise zu Datenschutz: Individualcode als Möglichkeit zur Löschung von Daten ansprechen (Lernende sollen diesen notieren); Lernende müssen an ihrem Arbeitsplatz sitzen bleiben</p> <p>Kurze Einführung in das Arbeiten mit den Experimentierboxen: In der Box ist eine Aufgabe, die mit Hilfe des Materials und passenden Experimenten bearbeitet werden muss. Es gibt keine Anleitung oder Versuchsvorschrift, Lernende entscheiden selbst, wie etwas bearbeitet oder untersucht wird. Für die Bearbeitung stehen 25 min Zeit zur Verfügung.</p> <p>Experimentspezifische Sicherheitsunterweisung: Austeilen der Schutzbrillen (Lernende werden dazu aufgefordert, die Schutzbrillen während der gesamten Stunde die Schutzbrillen zu tragen) Erinnerung an im Unterricht bereits erarbeitete Regeln zum sicheren Arbeiten</p> <p>Experimentierbox A2: Bei Kontakt mit der Citronensäure betroffene Stelle mit viel Wasser spülen. Bei sich entwickelnden Hautreizungen Kontakt zur testleitenden Person aufnehmen.</p> <p>Experimentierbox B2: Gase in den Spritzen nicht einatmen. Bei Kontakt mit dem Indikator mit viel Wasser spülen. Bei Hautkontakt mit den Salzen mit viel Wasser spülen.</p> <p>Experimentierbox C2: Alle eingesetzten Stoffe gesundheitsschädlich. Bei Hautkontakt mit viel Wasser spülen.</p>
2 min	Vorbereitete Arbeitsplätze Experimentierboxen	<p>Austeilen der Experimentierboxen (mit Hinweis, diese geschlossen zu halten) Starten der Videoaufzeichnung.</p>
25 min	Vorbereitete Arbeitsplätze Experimentierboxen	<p>Lernende bearbeiten die ausgeteilte Experimentierbox.</p>
2 min	Vorbereitete Arbeitsplätze Experimentierboxen	<p>Beenden der Videoaufzeichnung. Einsammeln der Experimentierboxen. Lernende dazu auffordern, am Arbeitsplatz sitzen zu bleiben.</p>
<p>Weitere Schritte vgl. Manual zur Datenerhebung – Messzeitpunkt 3 (Leistungstests)</p>		

VII.4 Kodiermanuale

Kodiermanual

zur Erfassung von Lerntätigkeiten und Schwierigkeiten beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben

entwickelt von: Dennis Kirstein

Stand: 18.04.2023

Dem in diesem Kodiermanual dargestellten Verfahren zur Analyse von Lernprozessen mit kooperativen Experimentieraufgaben werden folgende Definitionen für die zentralen Analysebereiche zugrunde gelegt:

Beschreibung des Analysebereichs	Kodierung	Kodiermanual	
<p>Unter einer Lerntätigkeit beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben werden direkt beobachtbare Aktivitäten verstanden, die bei der Bearbeitung einer Experimentieraufgabe angewendet werden. Lerntätigkeiten können verbale Äußerungen sowie experimental-praktische Fertigkeiten umfassen und können sich in ihrer Funktion auf die Umsetzung bestimmter Phasen beim eigenständigen Experimentieren oder den gesamten Bearbeitungsprozess beziehen.</p>	<p>Die Kodierung erfolgt timebasiert in zuvor festgelegten 10-Sekunden-Intervallen mit Hilfe der im Kodiermanual beschriebenen Indikatoren in MAXQDA.</p> <p>In jedem 10-Sekunden-Intervall sind sämtliche Tätigkeiten zu kodieren, die auftreten.</p>	S. 3 - 13	
<p>Beim eigenständigen Experimentieren treten zudem unterschiedliche Problembereiche beim Lernen auf. Diese lassen sich hinsichtlich ihrer Ausprägung und Bedeutsamkeit für den Lernprozess in Schwierigkeiten und Fehler differenzieren.</p>	<p>Unter einer Schwierigkeit beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben werden von einem Idealprozess abweichende Lernaktivitäten verstanden, die unverhältnismäßig lange dauern oder nur unter sichtbar großer Anstrengung ausgeführt werden können. Darüber hinaus können auch jene Lerntätigkeiten als Schwierigkeiten beschrieben werden, die sich indirekt, im Zusammenspiel mit oder beim Ausbleiben bestimmter Lernaktivitäten negativ auf den Erfolg bei der Bearbeitung der Experimentieraufgabe auswirken können, aber nicht unbedingt müssen.</p> <p>Eine besondere Form von Schwierigkeiten stellen Fehler dar. Unter einem Fehler beim Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben werden von der aufgabenbezogenen Norm abweichende Lernaktivitäten oder Ergebnisse verstanden, die in Bezug auf die fachliche Richtigkeit des zugrunde liegenden Lerngegenstands oder die Zielsetzung der Experimentieraufgabe als eindeutig falsch, fehlerhaft oder fehlend bewertet werden können.</p>	<p>Die Kodierung erfolgt turnbasiert mit Hilfe der im Kodiermanual beschriebenen Indikatoren im Anschluss an die Kodierung der Lerntätigkeiten.</p> <p>Das Auftreten einer Schwierigkeit oder eines Fehlers wird durch Setzen des entsprechenden Indikators kodiert. Treten Schwierigkeiten oder Fehler an mehreren unabhängigen Zeitpunkten der Bearbeitung auf, wird entsprechend für jeden Zeitpunkt kodiert. Wird eine Schwierigkeit oder ein Fehler während der Bearbeitung eigenständig entdeckt und behoben, wird dies entsprechend angemerk und kodiert.</p>	S. 14 - 18

2

Lerntätigkeiten			
Schülerin/Schüler plant und bespricht ein Vorgehen (Planung), indem ...			
Lerntätigkeiten	Code	Konkretisierung	Spezifische Indikatoren und Ankerbeispiele
... das Material gesichtet wird	P_MaterialSichten	Das Material wird aus der Box geräumt, näher betrachtet oder (strukturierend) zusammengelegt	[A1] [B1] [C1] [A2] [B2] [C2] S räumt das Material aus der Box oder sichtet das Material
... die Zielsetzung der Experimentieraufgabe besprochen oder diskutiert wird	P_ZielAufgabe	Die Aufgabenstellung einer Experimentieraufgabe wird explizit besprochen und hinsichtlich ihrer Zielsetzung diskutiert	[A1] [B1] [C1] [A2] [B2] [C2] S bespricht die Zielsetzung der Aufgabe
... der Nutzen des Materials beschrieben wird	P_VerwMaterial	Einzelne Gegenstände werden isoliert betrachtet und hinsichtlich ihres Nutzens zur Bearbeitung einer Experimentieraufgabe beschrieben	[A1] S beschreibt die Anwendung der Elektroden [A1] S beschreibt die Anwendung der Citronensäure [A1] S beschreibt die Anwendung des Voltmeters [A1] S beschreibt Verwendungsmöglichkeit eines Gegenstands [A2] S beschreibt die Anwendung der Elektroden [A2] S beschreibt die Anwendung der Citronensäure [A2] S beschreibt die Anwendung des Voltmeters [A2] S beschreibt die Eigenschaften der Metallelektroden [A2] S beschreibt Verwendungsmöglichkeit eines Gegenstands [B1] S beschreibt die Verwendung des pH-Indikatoren [B1] S beschreibt die Verwendung der Gase [B1] S beschreibt die Verwendung des Dest.Wassers [B1] S beschreibt Verwendungsmöglichkeit eines Gegenstands [B2] S beschreibt die Verwendung der Salze [B2] S beschreibt die Verwendung der Gase [B2] S beschreibt die Verwendung des pH-Indikatoren [B2] S beschreibt Verwendungsmöglichkeit eines Gegenstands [C1] S beschreibt die Verwendung der Proben [C1] S beschreibt den Verwendungszweck des Kaliumoxalats [C1] S beschreibt den Verwendungszweck des Dest.Wassers

3

			[C1] S beschreibt Verwendungsmöglichkeit eines Gegenstands [C2] S beschreibt den Zweck der Probe [C2] S beschreibt den Zweck der Griefß-Reagenz [C2] S beschreibt den Zweck der Vergleichslösungen [C2] S beschreibt den Zweck des Dest. Wasser
... ein Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabe beschrieben wird	P_Vorgehen	Es wird eine Abfolge zusammenhängender Teilschritte beschrieben, die sich auf die Bearbeitung der Aufgabe beziehen	[A1] [B1] [C1] [A2] [B2] [C2] S beschreibt ein Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabe
... eine Vermutung formuliert wird	P_Vermutung	Es wird eine Vermutung über den Ausgang eines Experimentieransatzes oder über die Ausprägung eines fachlichen Zusammenhangs formuliert	[A1] [B1] [C1] [A2] [B2] [C2] S formuliert eine Vermutung
... eine planungsbezogene Tätigkeit eines anderen Lernenden in der Gruppe verfolgt wird	FOLLOW_Planung	Es wird aufmerksam einer anderen Person gefolgt, die eine planungsbezogene Tätigkeit ausführt	[A1] [B1] [C1] [A2] [B2] [C2] S verfolgt aufmerksam eine Tätigkeit (Planung)

Schülerin/Schüler führt eine experimentelle Handlung aus (Durchführung), indem ...

Leertätigkeiten	Code	Konkretisierung	Spezifische Indikatoren und Ankerbeispiele
... eine einfache experimentelle Handlung zur Vor- oder Nachbereitung eines Ansatzes ausgeführt wird	D_Vorbereitung	Es werden grundlegende und experimental-praktisch weniger anspruchsvolle Tätigkeiten ausgeführt, die für den weiteren Bearbeitungsprozess notwendig sind, aber keine direkten, hinreichend aufgabenbezogenen	[A1] S füllt Dest. Wasser in ein Becherglas [A1] S löst Citronensäure in Dest. Wasser [A1] S zerlegt den Aufbau in die verwendeten Materialien [A1] S beschriftet verwendete Materialien [A2] S füllt Dest. Wasser in ein Becherglas [A2] S füllt Citronensäure-Lösung in ein Becherglas [A2] S zerlegt den Aufbau in die verwendeten Materialien [A2] S beschriftet verwendete Materialien [B1] S füllt Dest. Wasser in ein Reagenzglas [B1] S gibt pH-Indikator zu dem Dest. Wasser/ohne Gas

4

		Beobachtungen liefern.	[B1] S schüttelt eine Probe [B1] S beschriftet verwendete Materialien [B2] S füllt Dest. Wasser in ein Glasgefäß [B2] S füllt eine Lösung in ein Glasgefäß [B2] S schüttelt eine Probe [B2] S beschriftet verwendete Materialien [C1] S füllt eine Probe in ein Reagenzglas [C1] S füllt Dest. Wasser in ein Reagenzglas [C1] S füllt Kaliumoxalat in ein Reagenzglas [C1] S beschriftet verwendete Materialien [C2] S füllt Wasserprobe in ein Probegefäß [C2] S füllt Dest. Wasser in ein Probegefäß [C2] S schüttelt eine Probe [C2] S beschriftet verwendete Materialien
... eine experimentelle, aufgabenbezogene Handlung ausgeführt wird	D_Ansatz	Es werden experimental-praktische Tätigkeiten im Rahmen eines experimentellen Ansatzes ausgeführt, der zur Bearbeitung der Experimentieraufgabe notwendige Beobachtungen ermöglichen	[A1] S stellt eine Elektrode in ein Becherglas [A1] S stellt eine zweite Elektrode aus einem anderen Material in ein Becherglas [A1] S stellt eine zweite Elektrode aus dem gleichen Material in ein Becherglas [A1] S schließt eine verkabelte Elektrode an das Voltmeter an [A1] S verkabelt eine Elektrode [A1] S hält Elektroden in einem Aufbau fest [A1] S verändert die Position der Elektroden während der Messung [A1] S gibt weitere Citronensäure während der Messung hinzu [A2] S wählt eine Elektrode kriteriengeleitet (z.B. aufgrund des edlen Charakters) aus [A2] S stellt eine Elektrode in das Becherglas [A2] S stellt eine weitere Elektrode aus einem anderem Metall in das Becherglas [A2] S stellt eine weitere Elektrode aus dem gleichen Metall in das Becherglas [A2] S schließt eine verkabelte Elektrode an das Voltmeter an [A2] S verkabelt eine Elektrode [A2] S variiert systematisch das Material einer einzelnen Elektrode [A2] S schließt das Voltmeter an einem Aufbau an [A2] S vertauscht die Anschlüsse am Voltmeter [A2] S verändert die Position einer Elektrode [B1] S arbeitet mit dem Gas in einer Spritze [B1] S leitet ein Gas in Dest. Wasser/ mit Indikator ein [B1] S leitet ein Gas in Dest. Wasser/ ohne Indikator ein [B1] S gibt pH-Indikator zu dem Dest. Wasser/ mit Gas [B1] S vermischt unterschiedliche Lösungen miteinander [B2] S arbeitet mit dem Gas in der Spritze [B2] S leitet Kohlendioxid in Dest. Wasser/ ohne Indikator/ ohne Salz [B2] S gibt pH-Indikator in Dest. Wasser/ mit Gas/ ohne Salz [B2] S gibt pH-Indikator zu dem Dest. Wasser/ ohne Gas/ ohne Salz [B2] S leitet Kohlendioxid in Dest. Wasser/ mit Indikator/ ohne Salz [B2] S löst ein Salz in Dest. Wasser [B2] S leitet Kohlendioxid in Dest. Wasser/ ohne Indikator/ mit Salz [B2] S gibt pH-Indikator in Dest. Wasser/ mit Gas/ mit Salz

5

			<p>[B2] S gibt pH-Indikator zu dem Dest.Wasser/ohne Gas/mit Salz [B2] S leitet Kohlendioxid in Dest.Wasser/mit Indikator/mit Salz [B2] S gibt eine Salzlösung/ein Salz zu dem Dest.Wasser/mit Indikator/mit Gas [B2] S vermischt unterschiedliche Lösungen miteinander [C1] S versetzt eine Probe mit Kaliumoxalat [C1] S versetzt Dest.Wasser mit Kaliumoxalat [C1] S versetzt Kaliumoxalat mit einer Probe [C1] S versetzt Kaliumoxalat mit Dest.Wasser [C1] S vermischt mehrere Proben miteinander [C1] S vermischt Dest.Wasser mit einer Probe [C2] S gibt Griess-Reagenz zur Wasserprobe [C2] S gibt Griess-Reagenz zum Dest.Wasser [C2] S sortiert die Vergleichslösungen nach aufsteigendem Nitritgehalt [C2] S gibt Griess-Reagenz zu einer Vergleichslösung [C2] S gibt Vergleichslösung zur Wasserprobe [C2] S gibt Wasserprobe zur Vergleichslösung [C2] S gibt Dest.Wasser zu einer Vergleichslösung [C2] S gibt Vergleichslösung zu Dest.Wasser [C2] S gibt Dest.Wasser zu der Wasserprobe</p>
... eine durchführungsbezogenen Tätigkeit eines anderen Lernenden in der Gruppe verfolgt wird	FOLLOW_Durchführung	Es wird aufmerksam einer anderen Person gefolgt, die eine durchführungsbezogene Tätigkeit ausführt	[A1] [B1] [C1] [A2] [B2] [C2] S verfolgt aufmerksam eine Tätigkeit (Durchführung)
Schülerin/Schüler macht oder äußert Beobachtungen (Beobachtung), indem ...			
Lerntätigkeiten	Code	Konkretisierung	Spezifische Indikatoren und Ankerbeispiele
... aufgabenrelevante Variablen wahrgenommen werden	B_Wahrnehmen	Es werden Ansätze, Prozesse, Veränderungen oder Messgeräte betrachtet, ohne mögliche Beobachtungen zu verbalisieren.	<p>[A1] S beobachtet die Anzeige des Voltmeters [A2] S beobachtet die Anzeige des Voltmeters [A2] S beobachtet die Veränderung an einer Elektrode nach der Messung [B1] S betrachtet ein Versuchsergebnis [B2] S betrachtet ein Versuchsergebnis [C1] S betrachtet ein Versuchsergebnis [C2] S beobachtet die Reaktion Wasserprobe/Griess-Reagenz [C2] S beobachtet die Reaktion Dest.Wasser/Griess-Reagenz [C2] S beobachtet die Reaktion Vergleichslösung/Griess-Reagenz</p>
... Ausprägungen	B_AusprägungenBeschreiben	Es werden Beobachtungen (u.a.	[A1] S beschreibt einen Ausschlag am Voltmeter

6

aufgabenrelevanter Beobachtungen oder Messwerte benannt oder beschrieben werden		Farbreaktionen, sichtbare Reaktionsverläufe) oder Messungen (u.a. Messwerte von Messgeräten) angestellt und verbalisiert, die zur Bearbeitung der Aufgabenstellung herangezogen werden können.	<p>[A1] S benennt einen genauen Messwert am Voltmeter [A2] S beschreibt einen Ausschlag am Voltmeter [A2] S beschreibt die Richtung des Ausschlags am Voltmeter [A2] S benennt einen genauen Messwert einer Einzelmessung [B1] S beschreibt die Farbreaktion des pH-Indikatoren im Wasser [B1] S beschreibt die Farbreaktion eines Gases mit Wasser [B2] S beschreibt die Farbreaktion des pH-Indikatoren im Wasser [B2] S beschreibt die Farbveränderung nach Zugabe von Kohlendioxid [C1] S beschreibt die Reaktion Kaliumoxalat/Probe [C1] S beschreibt die Reaktion Kaliumoxalat/Dest.Wasser [C2] S beschreibt die Reaktion Wasserprobe/Griess-Reagenz [C2] S beschreibt die Reaktion Dest.Wasser/Griess-Reagenz [C2] S beschreibt die Reaktion Vergleichslösung/Griess-Reagenz</p>
... Beobachtungen aufgabenbezogen miteinander in Beziehung gesetzt werden	B_AusprägungZusammenhänge	Es werden Beobachtungen oder Messungen angestellt, bei denen Bezüge zu anderen Variablen oder anderen Beobachtungen hergestellt werden.	<p>[A1] S beschreibt die Richtung des Ausschlags am Voltmeter [A1] S beschreibt Auswirkungen einer Veränderung am Aufbau [A2] S benennt einen genauen Messwerte einer Versuchsreihe (ohne Referenz) [A2] S benennt einen genauen Messwerte einer Versuchsreihe (mit Referenz) [A2] S liest vom Voltmeter den Plus- bzw. Minuspol im Aufbau ab [B1] S vergleicht Farbreaktionen miteinander [B1] S vergleicht Farbreaktionen mit der pH-Skala [B2] S vergleicht die Farbreaktionen untereinander [B2] S vergleicht die Farbreaktionen mit der pH-Skala [B2] S beschreibt die unveränderte Färbung bei NaHCO₃ und Na₂CO₃ [C1] S vergleicht die Reaktionen Kaliumoxalat/Proben untereinander [C1] S vergleicht die Reaktionen Kaliumoxalat/Probe mit Kaliumoxalat/Dest.Wasser [C2] S vergleicht die Farbreaktionen der Vergleichslösungen untereinander [C2] S vergleicht die Farbreaktionen der Wasserprobe mit den Vergleichslösungen [C2] S vergleicht die Farbreaktion der Wasserprobe mit einer einzelnen Vergleichslösung [C2] S vergleicht die Farbreaktionen von Dest.Wasser und Vergleichslösungen [C2] S vergleicht die Farbreaktionen von Wasserprobe und Dest.Wasser</p>
... eine beobachtungsbezogenen Tätigkeit eines anderen Lernenden in der Gruppe verfolgt wird	FOLLOW_Beobachtung	Es wird aufmerksam einer anderen Person gefolgt, die eine beobachtungsbezogene Tätigkeit ausführt	[A1] [B1] [C1] [A2] [B2] [C2] S verfolgt aufmerksam eine Tätigkeit (Beobachtung)

7

Schülerin/Schüler wertet Daten aus (Auswertung), indem ...			
Lerntätigkeiten	Code	Konkretisierung	Spezifische Indikatoren und Ankerbeispiele
... Zusammenhänge aus den Beobachtungen abgeleitet werden	A_Zusammenhang	Es werden aus den Beobachtungen Zusammenhänge abgeleitet, die für die Bearbeitung der Aufgabenstellung relevant aber nicht unmittelbar zur Beantwortung herangezogen werden können.	[A1] S beschreibt die zielführende Anordnung der Elektroden [A2] S beschreibt die Richtung des elektrischen Stroms [A2] S beschreibt wichtige Voraussetzungen zur Anordnung der Elektroden [B1] S bestimmt den pH-Wert von Dest.Wasser [B1] S bestimmt den pH-Wert einer Probe [B1] S ordnet einer Lösung einen sauren, neutralen oder basischen Charakter zu [B2] S bestimmt den pH-Wert einer Lösung [B2] S bestimmt den pH-Wert von Dest.Wasser [B2] S ordnet einer Lösung einen sauren, neutralen oder basischen Charakter zu [B2] S beschreibt den Einfluss eines Salzes auf den pH-Wert einer Lösung [B2] S beschreibt den Einfluss eines Salzes auf den Charakter einer Lösung [C1] S beschreibt die Abhängigkeit der Trübung vom Mineralstoffgehalt [C1] S beschreibt die Abhängigkeit der Trübung vom Calciumgehalt [C2] S beschreibt die Farbreaktion als Hinweis auf Nitrit in einer Lösung oder Probe [C2] S beschreibt die Abhängigkeit der Farbreaktion vom Nitrit-Gehalt
... aufgabenbezogene Schlussfolgerungen beschrieben werden	A_SchlussfolgerungBeschreiben	Es werden aus den Beobachtungen Schlüsse gezogen, die einen direkten Bezug zur Aufgabenstellung besitzen. Diese werden jedoch nicht weiter erläutert.	[A1] S benennt einen Aufbau als Lösung der Aufgabe [A1] S beschreibt Elemente eines funktionsfähigen Aufbaus [A1] S benennt eine Salzlösung als notwendige Voraussetzung [A2] S ordnet einem Metall einen Charakter zu [A2] S vergleicht zwei Metalle hinsichtlich ihres edlen bzw. unedlen Charakters [A2] S ordnet die Metalle in einer Reihenfolge an [A2] S ordnet die Metalle in der richtigen Reihenfolge an [A2] S ordnet einem Pol eine chemische Eigenschaft zu [B1] S benennt das richtige Gas als Ursache für die Veränderung des pH-Werts [B1] S benennt ein falsches Gas als Ursache für die Veränderung des pH-Werts [B2] S beschreibt den Einfluss eines Salzes auf den pH-Wert nach Zugabe von Kohlendioxid [B2] S beschreibt den Einfluss eines Salzes auf den Charakter nach Zugabe von Kohlendioxid [B2] S benennt richtige, regulierende Mineralstoffe [B2] S benennt falsche, nicht regulierende Mineralstoffe [C1] S ordnet einer Mineralwasserprobe eine richtige Sorte zu [C1] S ordnet einer Mineralwasserprobe eine falsche Sorte zu [C2] S beschreibt ein Vorgehen zur Bestimmung des Nitrit-Gehalts [C2] S bestimmt den Bereich des Nitrit-Gehalt der Wasserprobe [C2] S bestimmt den konkreten Nitrit-Gehalt der Wasserprobe
... aufgabenbezogene Schlussfolgerungen erläutert	A_SchlussfolgerungErläutern	Es werden bezogene Schlussfolgerungen mit Hilfe	[A1] S beschreibt die Eigenschaften der Elektrolyt-Lösung [A1] S beschreibt notwendige Eigenschaften der Elektroden

8

werden		relevanter Konzepte begründet oder auf einer allgemeineren Ebene (Abstraktion) betrachtet.	[A2] S begründet die gebildete Reihenfolge mit Hilfe der Spannungsunterschiede [A2] S begründet die gebildete Reihenfolge mit Hilfe edlen bzw. unedlen Charakters [A2] S erläutern die Unterschiede von Plus- und Minuspol hinsichtlich der chemischen Eigenschaften [B1] S erläutert die Veränderung als Absinken des pH-Werts [B2] S beschreiben den basischen Charakter als Gemeinsamkeiten der regulierenden Mineralstoffe [B2] S beschreiben die Stoffgruppe als Gemeinsamkeiten der regulierenden Mineralstoffe [C1] S begründet die Zuordnung mit der Trübung [C1] S begründet die Zuordnung mit den Unterschieden im Mineralstoffgehalt [C1] S begründet die Zuordnung mit den Unterschieden im Calciumgehalt [C2] S bewerten den Nitrit-Gehalt der Probe anhand der Farbtintensität [C2] S bewerten den Nitrit-Gehalt der Probe anhand des entsprechenden Grenzwerts [C2] S bewerten den Nitrit-Gehalt der Probe anhand eines falschen Grenzwerts
... Ergebnisse weiterführend diskutiert werden	A_Diskutieren	Es werden Ursachen für unerwartete oder ausbleibende Ergebnisse diskutiert oder Zusammenhänge hergestellt, die über die Aufgabenstellung hinausgehen.	[A1] S erklärt die Richtung des Ausschlags am Voltmeter [A1] S benennen mögliche Ursachen für die Entstehung der Spannung [A1] S diskutieren mögliche Ursachen für das Ausbleiben einer Spannung [A2] S diskutieren mögliche Ursachen für das Ausbleiben einer Spannung [B1] xxx [B2] S erläutern den Begriff 'regulieren' [C1] S erklärt die Trübung mit Hilfe der Löslichkeit der beteiligten Salze [C2] S beurteilt das Ergebnis der Bewertung des Nitritgehalts [C2] S erklärt die ausbleibende Farbreaktion bei Des.Wasser/Lösung 0 mg/L
... eine auswertungsbezogenen Tätigkeit eines anderen Lernenden in der Gruppe verfolgt wird	FOLLOW_Auswertung	Es wird aufmerksam einer anderen Person gefolgt, die eine auswertungsbezogene Tätigkeit ausführt.	[A1] [B1] [C1] [A2] [B2] [C2] S verfolgt aufmerksam eine Tätigkeit (Auswertung)

Schülerin/Schüler arbeitet mit dem Lernmaterial (Lernmaterial), indem ...			
Lerntätigkeiten	Code	Konkretisierung	Spezifische Indikatoren und Ankerbeispiele
... das Lernmaterial betrachtet wird	L_Betrachten	Das Lernmaterial wird gesichtet oder individuell betrachtet ohne mit anderen Lernenden zu kommunizieren.	[A1] S schaut sich die Aufgabenkarte A1 still an [A1] S schaut sich die Infokarte A1.1 still an [A2] S schaut sich die Aufgabenkarte A2 still an [A2] S schaut sich die Infokarte A2.1 still an [A2] S schaut sich die Infokarte A2.2 still an [A2] S schaut sich die Infokarte A2.3 still an [B1] S schaut sich die Aufgabenkarte B1 still an

9

			<p>[B1] S schaut sich die Infokarte B1.1 still an [B2] S schaut sich die Aufgabekarte B2 still an [B2] S schaut sich die Infokarte B2.1 still an [B2] S schaut sich die Infokarte B2.2 still an [C1] S schaut sich die Aufgabekarte C1 still an [C1] S schaut sich die Infokarte C1.1 still an [C1] S schaut sich die Infokarte C1.2 still an [C2] S schaut sich die Aufgabekarte C2 still an [C2] S schaut sich die Infokarte C2.1 still an [C2] S schaut sich die Infokarte C2.2 still an [C2] S schaut sich die Infokarte C2.3 still an</p>
<p>... Informationen des Lernmaterials wiedergegeben werden</p>	L_Wiedergeben	<p>Das Lernmaterial wird laut vorgelesen oder es werden einzelne Informationen wiedergegeben. Eine Anwendung der Informationen erfolgt jedoch nicht.</p>	<p>[A1] S liest die Aufgabekarte A1 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Aufgabekarte A1 wieder [A1] S liest die Infokarte A1.1 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Infokarte A1.1 wieder [A2] S liest die Aufgabekarte A2 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Aufgabekarte A2 wieder [A2] S liest die Infokarte A2.1 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Infokarte A2.1 wieder [A2] S liest die Infokarte A2.2 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Infokarte A2.2 wieder [A2] S liest die Infokarte A2.3 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Infokarte A2.3 wieder [B1] S liest die Aufgabekarte B1 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Aufgabekarte B1 wieder [B1] S liest die Infokarte B1.1 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Infokarte B1.1 wieder [B1] S liest die Infokarte B1.2 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Infokarte B1.2 wieder [B2] S liest die Aufgabekarte B2 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Aufgabekarte B2 wieder [B2] S liest die Infokarte B2.1 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Infokarte B2.1 wieder [B2] S liest die Infokarte B2.2 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Infokarte B2.2 wieder [B2] S liest die Infokarte B2.3 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Infokarte B2.3 wieder [C1] S liest die Aufgabekarte C1 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Aufgabekarte C1 wieder [C1] S liest die Infokarte C1.1 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Infokarte C1.1 wieder [C1] S liest die Infokarte C1.2 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Infokarte C1.2 wieder [C2] S liest die Aufgabekarte C2 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Aufgabekarte C2 wieder</p>

10

			<p>[C2] S liest die Infokarte C2.1 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Infokarte C2.1 wieder [C2] S liest die Infokarte C2.2 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Infokarte C2.2 wieder [C2] S liest die Infokarte C2.3 laut vor oder gibt einzelne Informationen der Infokarte C2.3 wieder</p>
<p>... Informationen des Lernmaterials angewendet werden</p>	L_Anwenden	<p>Es werden Informationen aus dem Lernmaterial selektiert und auf die Planung, Durchführung, Beobachtung, Auswertung oder Dokumentation angewendet. Die Anwendung geht dabei über das reine Wiedergeben von Informationen hinaus.</p>	<p>[A1] S wendet Informationen der Aufgabekarte A1 an [A1] S wendet Informationen der Infokarte A1.1 an [A2] S wendet Informationen der Aufgabekarte A2 an [A2] S wendet Informationen der Infokarte A2.1 an [A2] S wendet Informationen der Infokarte A2.2 an [A2] S wendet Informationen der Infokarte A2.3 an [B1] S wendet Informationen der Aufgabekarte B1 an [B1] S wendet Informationen der Infokarte B1.1 an [B1] S wendet Informationen der Infokarte B1.2 an [B2] S wendet Informationen der Aufgabekarte B2 an [B2] S wendet Informationen der Infokarte B2.1 an [B2] S wendet Informationen der Infokarte B2.2 an [B2] S wendet Informationen der Infokarte B2.3 an [C1] S wendet Informationen der Aufgabekarte C1 an [C1] S wendet Informationen der Infokarte C1.1 an [C1] S wendet Informationen der Infokarte C1.2 an [C2] S wendet Informationen der Aufgabekarte C2 an [C2] S wendet Informationen der Infokarte C2.1 an [C2] S wendet Informationen der Infokarte C2.2 an [C2] S wendet Informationen der Infokarte C2.3 an [C1] S vergleicht den Mineralstoffgehalt verschiedener Sorten [C1] S vergleicht den Calciumgehalt verschiedener Sorten</p>
<p>... eine lernmaterialbezogene Tätigkeit eines anderen Lernenden in der Gruppe verfolgt wird</p>	FOLLOW_Lernmaterial	<p>Es wird aufmerksam einer anderen Person gefolgt, die eine lernmaterialbezogene Tätigkeit ausführt</p>	<p>[A1] [B1] [C1] [A2] [B2] [C2] S verfolgt aufmerksam eine Tätigkeit (Lernmaterial)</p>

Schülerin/Schüler dokumentiert Ergebnisse (Dokumentation), indem ...			
Lerntätigkeiten	Code	Konkretisierung	Spezifische Indikatoren und Ankerbeispiele
<p>... Anweisungen zur Verschriftlichung des</p>	E_Anweisung	<p>Es werden Anweisungen (u.a. Ansagen über zu</p>	<p>[A1] [B1] [C1] [A2] [B2] [C2] S gibt Anweisungen zur Dokumentation</p>

11

<i>Bearbeitungsprozesses gegeben werden</i>		verschriftlichende Informationen, Formulierung einer Aufgabenlösung) erteilt, die sich auf das schriftliche Festhalten der Aufgabenbearbeitung beziehen.	
<i>... der Bearbeitungsprozess verschriftlicht werden</i>	E_Verschriftlichen	Die Aufgabenbearbeitung wird eigenständig verschriftlicht oder es werden Anweisungen zur Verschriftlichung umgesetzt.	[A1] [B1] [C1] [A2] [B2] [C2] S verschriftlicht den Bearbeitungsprozess
<i>... eine dokumentationsbezogenen Tätigkeit eines anderen Lernenden in der Gruppe verfolgt wird</i>	FOLLOW_Dokumentation	Es wird aufmerksam einer anderen Person gefolgt, die eine dokumentationsbezogene Tätigkeit ausführt	[A1] [B1] [C1] [A2] [B2] [C2] S verfolgt aufmerksam eine Tätigkeit (Dokumentation)
Schülerin/Schüler führt übergeordnete Tätigkeiten aus, indem ...			
Lerntätigkeiten	Code	Konkretisierung	Spezifische Indikatoren und Ankerbeispiele
<i>... nicht aufgabenbezogen gearbeitet wird</i>	kaA	Sämtliche Tätigkeiten und Aktivitäten, die keinen direkten Aufgabenbezug haben, werden als nicht aufgabenbezogenes Arbeiten gewertet.	[A1] [B1] [C1] [A2] [B2] [C2] S arbeitet nicht aufgabenbezogen (u.a. schaut in die Gegend, wirkt abwesend, beschäftigt sich mit nicht aufgabenbezogenen Dingen, spricht mit anderen Lernenden über nicht aufgabenbezogene Dinge)
<i>... eine konzeptbezogene Frage gestellt wird</i>	InhaltFrage	Es wird eine konzeptbezogene Frage gestellt (u.a. zu Eigenschaften bestimmter Stoffe oder zu fachlichen Zusammenhängen).	[A1] [B1] [C1] [A2] [B2] [C2] S stellt eine Frage, die sich auf den Lerngegenstand der Experimentieraufgabe bezieht

12

Dissertationsprojekt „Individuelles Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben im Chemieunterricht“

Dennis Kirstein

<i>... eine prozessbezogene Frage gestellt wird</i>	ProzessFrage	Es wird eine prozessbezogene Frage gestellt (u.a. zur Strukturierung des Experimentierprozesses).	[A1] [B1] [C1] [A2] [B2] [C2] S stellt eine Frage, die sich auf den Bearbeitungsprozess bezieht
<i>... eine organisatorische Aussage geäußert wird</i>	OrgaAussage	Es wird eine Aussage geäußert (u.a. zum Ablauf der Stunde).	[A1] [B1] [C1] [A2] [B2] [C2] S äußert eine Aussage, die sich auf den Bearbeitungsprozess bezieht

13

Problembereiche			
themenübergreifende Schwierigkeiten			
Schwierigkeiten	Code	Konkretisierung	Spezifische Indikatoren und Ankerbeispiele
Schwierigkeiten in Bezug auf die Zielsetzung der Aufgabenstellung	Problem_S_Aufg	Die Lernenden äußern Unsicherheit oder Unwissenheit in Bezug auf das Ziel der Experimentieraufgabe, mit dem zur Verfügung stehenden Experimentiermaterial oder sprechen über eine von der eigentlichen Aufgabe abweichenden Zielsetzung.	[B1] S ist der Nutzen der Gase in den Spritzen zur Bearbeitung der Aufgabe nicht klar [B1] S sehen als Ziel der Aufgabe das Erreichen aller möglichen Farbreaktionen auf der pH-Skala [C1] S äußern Planlosigkeit bei der Bearbeitung der Experimentieraufgabe [C2] S orientiert sich bei der Planung am Grenzwert für Nitrat
Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	Problem_S_Zsh	Die Lernenden untersuchen mit der Aufgabenstellung in Bezug stehende Zusammenhänge, führen diese aber unvollständig durch, indem zentrale Elemente ausgelassen werden oder untersuchen Zusammenhänge, die keinen direkten Bezug zur Aufgabe aufweisen.	[A1] S verwenden zwei Elektroden aus dem gleichen Material [B1] S untersuchen die Farbreaktion des pH-Indikators in Abhängigkeit der zugegebenen Menge [B2] S vergleichen zwei Farbreaktionen von Destilliertem Wasser und unterschiedlicher Menge an pH-Indikator [B2] S beschriften keine Probegefäße [C2] S vergleichen Farbreaktion der Wasserprobe mit der Farbreaktion einer eigenständig zusammengemischten Lösung
Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	Problem_S_prakArb	Die Lernenden arbeiten unsauber oder wenden fehleranfällige sowie ungeeignete experimentelle Handlungen an.	[B1] S schüttelt eine Probe nicht gut genug (unvollständige Durchmischung von Lösungen) [B2] S schüttelt eine Probe nicht gut genug (unvollständige Durchmischung von Lösungen) [B2] S verwenden bereits benutzte Geräte ohne diese auszuspülen [B2] S verwenden sehr viel Salzlösung, sodass sich der pH-Wert schlagartig ändert [C1] S beschriften Ansätze oder abgefüllte Lösungen nicht [C1] S verwendet eine bereits benutzte Pipette oder ein benutztes Probegefäß [C1] S verwenden ein für Vertauschungen anfälliges Vorgehen (Probegefäße werden zu den Reagenzgläsern gestellt)

14

			[C2] S verwenden bereits benutzte Pipetten oder ein bereits benutztes Probegefäß
Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	Problem_S_ExpMat	Die Lernenden gehen unsicher oder unwissend mit dem Experimentiermaterial um oder nutzen dieses nicht zweckmäßig.	[A1] S äußern Unwissenheit über die Verwendung aufgabenrelevanter Gegenstände (z.B. die Elektroden) [A2] S lesen am Voltmeter eine Spannung in der falschen Größenordnung ab [B1] S verwendet ungleiche Mengen an Lösungen [B1] S verwendet ungleiche Mengen an pH-Indikator [B1] S verwenden die Spritzen zum Abfüllen von Wasser [B2] S verwendet ungleiche Mengen an Lösungen [B2] S verwendet ungleiche Mengen an pH-Indikator [C1] S verwenden unterschiedlich viel Mineralwasser [C1] S verwenden ungleiche Mengen an Kaliumoxalat-Lösung [C2] S verwenden andere Mengen an Probe oder Destilliertem Wasser als in den Vergleichslösungen
Unsystematische Untersuchungen	Problem_S_Zsh	Die Lernenden gehen bei der Bearbeitung der Aufgabe unsystematisch vor, was sich in einer planlosen Durchführung, einem willkürlichen Untersuchungsdesign oder einer fehlenden Variablenkontrolle ausdrückt.	[A1] S verwenden mehr als zwei Elektroden in einem Aufbau/Gefäß [A1] S messen eine Spannung bei einem Aufbau mit mehr als zwei Elektroden [A2] S verwenden mehr als zwei Elektroden in einem Aufbau gleichzeitig [A2] S verwenden keine Referenzelektrode [B1] S vermischen planlos verschiedene Lösungen miteinander [B1] S vertauschen Lösungen oder Ansätze [B2] S vermischen (planlos) verschiedene Stoffe oder Lösungen miteinander [B2] S vertauschen Ansätze oder Lösungen [B2] S untersucht den Einfluss von Gas und Salz in unterschiedlichen Ansätzen [B2] S verwenden mehrere Salze gleichzeitig in einem Ansatz [C1] S wissen nicht, welche Mineralwasserproben sie bereits untersucht haben [C1] S vertauscht Proben oder Lösungen [C1] S vermischen Destilliertes Wasser und Probelösungen [C2] S untersuchen die Farbreaktion eigenständig hergestellter Lösungen aus vorgegebenen Lösungen
Ungünstige Versuchsbedingungen	Problem_S_Bed	Die Lernenden arbeiten unter ungünstigen Bedingungen, sodass weitere Aktivitäten unter Umständen zum Problem werden können.	[A1] S verwenden Destilliertes Wasser als Elektrolytlösung [A2] S verwenden ein Gemisch aus Citronensäure-Lösung und destilliertem Wasser [B1] S verwenden unterschiedlich intensiv gefärbte Ausgangslösungen (aufgrund unterschiedlicher Mengen pH-Indikator) [B1] S nutzen fehleranfällige Verfahren zur Zuordnung (Merken, Dazustellen, ...) [B2] S bestimmen nicht den Charakter/ den pH-Wert einer Salzlösung vor dem Vermischen mit Kohlendioxid [C1] S befüllen das Reagenzglas bereits vor der Zugabe von Kaliumoxalat sehr hoch [C1] S geben Destilliertes Wasser zur Mineralwasserprobe

15

themenübergreifende Fehler			
Fehler	Code	Konkretisierung	Spezifische Indikatoren und Ankerbeispiele
Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	Problem_F_Inhalt	Die Lernenden äußern in Bezug auf die Aufgabenstellung inhaltlich falsche Zusammenhänge oder Konzepte oder führen inhaltlich falsche Handlungen oder Entscheidungen aus.	[A1] S bezeichnen eine selbst hergestellte Elektrolytlösung als Wasser [A2] S wenden zur Erläuterung der Eigenschaften der Pole ein falsches Konzept an (z.B. positiv und negativ geladene Elektronen) [A2] S bezeichnen die Citronensäure-Lösung als Wasser [B1] S sagt, dass in den Spritzen nur Luft enthalten ist [B1] S sagt, dass in die aufgezogenen Spritzen leer sind [B2] S sagt, dass in den Spritzen nur Luft enthalten ist [C1] S benennt Kallumoxalat als Testlösung für Kallium [C1] S deutet die Gehaltsangaben als Maß für die Anzahl zugegebener Tropfen [C2] S beschreiben die Zugabe von Nitrillösung als notwendige Voraussetzung zur Bestimmung des Nitritgehalts einer Probe
Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	Problem_F_ExpMat	Die Lernenden machen Fehler bei der Handhabung des Experimentiermaterials oder führen experimentelle Handlungen fehlerhaft aus.	[A1] S schließen eine Elektrode an beide Anschlüsse des Voltmeters an [A1] S verwenden die Citronensäure falsch (u.a. Auftragen auf eine Elektrode) [A2] S schließen die Elektroden mit einer falschen Polung an die Anschlüsse des Voltmeters an [A2] S liest einen falschen Messwert am Voltmeter ab [B1] S verwendet den pH-Indikator falsch [B1] S verwendet zu viel pH-Indikator [B1] S entleert eine Spritze ohne das Gas zu verwenden [B2] S entleert eine Spritze ohne das Gas zu verwenden [B2] S verwenden zu viel pH-Indikator [B2] S führt einen Ansatz mit selbst aufgezogener Spritze durch [C1] S geben Lösungen direkt in den Reagenzglasständer ohne Reagenzgläser [C2] S geben zu einer Probe etwas von einer Vergleichslösung [C2] S verunreinigen die Vergleichslösungen durch Zugabe anderer Lösungen (Dest.Wasser/Wasserprobe) [C2] S vermischen verschiedene Vergleichslösungen miteinander
Fehler beim Schlussfolgern	Problem_F_Schlussf	Die Lernenden ziehen falsche oder keine Schlussfolgerungen aus vorliegenden Beobachtungen.	[A1] S können den Messwert des Voltmeters nicht deuten [A1] S können aus einem zielführenden Aufbau keine grundlegenden Prinzipien zum Aufbau einer Batterie ableiten [A2] S ordnen die Metalle auf der Grundlage unvollständiger experimenteller Daten (z.B. Messungen nur mit einzelnen Metallen) [B1] S bestimmt einen falschen Charakter/pH-Wert einer Lösung [B1] S können die Ergebnisse nicht deuten [B2] S weisen einer Farbreaktion die falsche Farbe zu (u.a. fast schwarz wegen zu hoher Mengen an pH-Indikator)

16

			[C1] S beschreibt keine Erklärung für die beobachtete Trübung [C1] S nehmen keinen Bezug zur unterschiedlichen Mineralstoffzusammensetzung der verschiedenen Mineralwasser-Sorten
Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	Problem_F_Zsh	Die Lernenden untersuchen im Rahmen der Aufgabenbearbeitung zielführende Zusammenhänge nicht oder es fehlen wichtige Elemente, die für den Zusammenhang relevant sind.	[A1] S verwenden einen isolierten Aufbau (Elektroden sind räumlich voneinander getrennt) [A1] S verwenden einen Aufbau ohne Elektrolytlösung [A1] S missachten den Kontakt der Elektroden in einem Aufbau [A1] S verbinden Elektroden leitend (z.B. über eine weitere Elektrode) miteinander [A2] S missachten den Kontakt der Elektroden in einem Aufbau [A2] S führen nicht mit allen Metallen Messungen durch [A2] S verwendet nur eine angeschlossene Elektrode in einem Aufbau [B1] S untersucht nicht den Einfluss der Gase auf den pH-Wert [B1] S untersucht nicht alle Gase [B2] S verwenden ausschließlich pH-Indikator zur Untersuchung des pH-Werts eines Salzes [B2] S untersuchen nicht den Einfluss eines Mineralstoffes auf die saure Wirkung von Kohlendioxid [C2] S nutzen zur Bestimmung des Nitritgehalts nur die Vergleichslösung mit dem für Nitrit vorgeschriebenen Grenzwert (0,1 mg/l) [C2] S versetzen die Vergleichslösungen nicht mit der Grieb-Reagenz [C2] S beobachten ausschließlich die Farbreaktion einer Vergleichslösung [C2] S vergleichen die Farbreaktion der Wasserprobe ausschließlich mit der Farbreaktion einer Vergleichslösung (stärker als ..., schwächer als ...) [C2] S geben nur die Grieb-Reagenz in ein Probegefäß
Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	Problem_F_Lösungf	Die Lösung der Aufgabe enthält Fehler, die sich im Wesentlichen auf unpassende Schlussfolgerungen der Experimentierphase beziehen. In Abgrenzung zu inhaltlichen und verständnisbezogenen Fehlern bezieht sich eine fehlerhafte Lösung der Aufgabe ausschließlich auf eine explizit geäußerte Lösung der Aufgabe.	[A1] S können mit einem richtigen Aufbau keine elektrische Spannung erzeugen [A2] S ordnen die Metalle anhand nicht zielführender Merkmale (Aussehen, Stellung im PSE, elektrische Leitfähigkeit, Masse) [A2] S setzen Metalle hinsichtlich ihres Charakters falsch in Beziehung (z.B. Kupfer ist unedler als Eisen) [A2] S ordnen die Metalle in einer falschen Reihenfolge an [A2] S weisen den Elektroden keine/falsche chemische Eigenschaften zu [A2] S weisen den Elektroden in der Auswertung keine/falsche chemische Eigenschaften zu [B1] S benennen ein falsches Gas als Ursache für die Veränderung des pH-Werts der Ozeane [B2] S benennen die falschen an der Regulation beteiligten Mineralstoffe [C1] S ordnen den Proben falsche Sorten zu [C1] S ordnen die Proben aufgrund des Kalliumgehalts zu [C1] S ordnen die Proben aufgrund eines anderen ungeeigneten Merkmals zu (z.B. über den Kohlensäuregehalt der Probe) [C2] S beschreiben in der Auswertung kein oder ein falsches Vorgehen zur Bestimmung des Nitritgehalts [C2] S führen das Nachweisverfahren falsch/fehlerhaft aus (z.B. Zugaben von Griebreagenz und Dest.Wasser als Nachweis [C2] S beschreiben in der Auswertung kein oder ein falsches Vorgehen zur Bestimmung des Nitritgehalts

17

VII Anhang

<p>Unvollständige Lösung zur Aufgabe</p>	<p>Problem_F_unvollstLösung</p>	<p>In der Lösung zur Aufgabe fehlen wesentliche, für eine erfolgreiche Bearbeitung der Aufgabe notwendige, Teilaspekte.</p>	<p>[A1] S können das notwendige Anordnungsprinzip der Elektroden nicht benennen [A1] S können die notwendigen Eigenschaften der Elektrolytlösung nicht benennen [A1] S erzielen während der gesamten Arbeitsphase keinen zielführenden Aufbau [A2] S weisen den Elektroden in der Auswertung keine/falsche chemische Eigenschaften zu [A2] S weisen den Elektroden keine/falsche chemische Eigenschaften zu [B1] S benennen kein Gas als Ursache für die Veränderung des pH-Werts der Ozeane [B1] S benennt keine Ursache für die Veränderung des pH-Werts im Ozean [B2] S benennen keine Mineralstoffe, die an der Regulation beteiligt sind [B2] S erläutern keine Gemeinsamkeiten regulierender Mineralstoffe [C1] S nimmt keine Zuordnung von Sorte und Probe vor [C2] S können den Nitritgehalt der Wasserprobe nicht bestimmen [C2] S beschreiben in der Auswertung kein oder ein falsches Vorgehen zur Bestimmung des Nitritgehalts [C2] S beschreiben in der Auswertung kein oder ein falsches Vorgehen zur Bestimmung des Nitritgehalts</p>
---	---------------------------------	---	--

VII.5 Detailergebnisse

Tabelle A.1: Korrelationskoeffizienten zwischen Lernvoraussetzungen und auftretenden Schwierigkeiten

Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_{pbis}
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	- 0,302
Kognitive Grundfähigkeiten	- 0,402
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	- 0,395
Individuelles Fachinteresse	- 0,024
Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_{pbis}
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	- 0,014
Kognitive Grundfähigkeiten	0,058
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,155
Individuelles Fachinteresse	- 0,108
Unsystematische Untersuchungen	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_{pbis}
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	- 0,120
Kognitive Grundfähigkeiten	- 0,120
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	- 0,299
Individuelles Fachinteresse	- 0,190
Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_{pbis}
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	0,061
Kognitive Grundfähigkeiten	0,122
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,082
Individuelles Fachinteresse	- 0,166
Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_{pbis}
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	- 0,020
Kognitive Grundfähigkeiten	- 0,091
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	- 0,100
Individuelles Fachinteresse	- 0,081

Tabelle A.1 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen Lernvoraussetzungen und auftretenden Schwierigkeiten

Ungünstige Versuchsbedingungen	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_{pbis}
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	- 0,139
Kognitive Grundfähigkeiten	- 0,165
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	- 0,128
Individuelles Fachinteresse	- 0,158
Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_{pbis}
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	- 0,049
Kognitive Grundfähigkeiten	- 0,026
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,091
Individuelles Fachinteresse	- 0,063
Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_{pbis}
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	- 0,320
Kognitive Grundfähigkeiten	- 0,221
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	- 0,327
Individuelles Fachinteresse	- 0,202
Fehler beim Schlussfolgern	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_{pbis}
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	- 0,169
Kognitive Grundfähigkeiten	- 0,175
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	- 0,151
Individuelles Fachinteresse	0,182
Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_{pbis}
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	- 0,280
Kognitive Grundfähigkeiten	- 0,361
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	- 0,420
Individuelles Fachinteresse	- 0,128

Tabelle A.1 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen Lernvoraussetzungen und auftretenden Schwierigkeiten

Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_{pbis}
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	0,033
Kognitive Grundfähigkeiten	0,075
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,215
Individuelles Fachinteresse	- 0,061
Unvollständige Lösung der Aufgabe	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_{pbis}
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	- 0,422
Kognitive Grundfähigkeiten	- 0,381
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	- 0,531
Individuelles Fachinteresse	- 0,238

Tabelle A.2: Korrelationskoeffizienten zwischen Lernvoraussetzungen und genutzten Lerntätigkeiten

Lernende sichten das Material.	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	- 0,051
Kognitive Grundfähigkeiten	0,000
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	- 0,085
Individuelles Fachinteresse	0,131
Lernende besprechen oder diskutieren die Zielsetzung der Experimentieraufgabe.	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	0,166
Kognitive Grundfähigkeiten	0,206
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,201
Individuelles Fachinteresse	- 0,026
Lernende beschreiben den Nutzen des Materials.	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	0,337
Kognitive Grundfähigkeiten	0,290
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,424
Individuelles Fachinteresse	0,139

Tabelle A.2 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen Lernvoraussetzungen und genutzten Lerntätigkeiten

Lernende beschreiben ein Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabe.	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	0,235
Kognitive Grundfähigkeiten	0,317
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,355
Individuelles Fachinteresse	0,027
Lernende formulieren eine Vermutung.	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	0,405
Kognitive Grundfähigkeiten	0,251
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,309
Individuelles Fachinteresse	0,001
Lernende führen eine einfache experimentelle Handlung zur Vor- oder Nachbereitung eines Ansatzes aus.	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	- 0,086
Kognitive Grundfähigkeiten	- 0,055
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	- 0,014
Individuelles Fachinteresse	0,081
Lernende führen eine experimentelle, aufgabenbezogene Handlung aus.	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	- 0,067
Kognitive Grundfähigkeiten	- 0,084
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	- 0,046
Individuelles Fachinteresse	0,011
Lernende nehmen aufgabenrelevante Variablen wahr.	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	- 0,115
Kognitive Grundfähigkeiten	- 0,155
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	- 0,200
Individuelles Fachinteresse	- 0,027

Tabelle A.2 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen Lernvoraussetzungen und genutzten Lerntätigkeiten

Lernende beschreiben oder benennen Ausprägungen aufgabenrelevanter Beobachtungen oder Messwerte.	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	0,204
Kognitive Grundfähigkeiten	0,082
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,097
Individuelles Fachinteresse	0,102
Lernende setzen Beobachtungen aufgabenbezogen miteinander in Beziehung.	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	0,176
Kognitive Grundfähigkeiten	0,262
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,161
Individuelles Fachinteresse	0,220
Lernende leiten Zusammenhänge aus den Beobachtungen ab	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	0,311
Kognitive Grundfähigkeiten	0,349
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,290
Individuelles Fachinteresse	0,168
Lernende beschreiben aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	0,304
Kognitive Grundfähigkeiten	0,337
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,490
Individuelles Fachinteresse	0,216
Lernende erläutern aufgabenbezogene Schlussfolgerungen	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	0,293
Kognitive Grundfähigkeiten	0,198
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,281
Individuelles Fachinteresse	- 0,038

Tabelle A.2 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen Lernvoraussetzungen und genutzten Lerntätigkeiten

Lernende diskutieren aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	0,410
Kognitive Grundfähigkeiten	0,310
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,336
Individuelles Fachinteresse	0,065
Lernende betrachten das Lernmaterial.	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	- 0,020
Kognitive Grundfähigkeiten	- 0,103
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,004
Individuelles Fachinteresse	0,034
Lernende geben Informationen des Lernmaterials wieder.	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	0,005
Kognitive Grundfähigkeiten	0,074
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,247
Individuelles Fachinteresse	0,061
Lernende wenden Informationen des Lernmaterials an.	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	0,218
Kognitive Grundfähigkeiten	0,287
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,291
Individuelles Fachinteresse	0,060
Lernende arbeiten nicht aufgabenbezogen.	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	- 0,327
Kognitive Grundfähigkeiten	- 0,210
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	- 0,369
Individuelles Fachinteresse	- 0,316

Tabelle A.2 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen Lernvoraussetzungen und genutzten Lerntätigkeiten

Lernende stellen eine konzeptbezogene Frage.	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	0,123
Kognitive Grundfähigkeiten	- 0,004
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,050
Individuelles Fachinteresse	- 0,048
Lernende stellen eine prozessbezogene Frage.	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	0,131
Kognitive Grundfähigkeiten	0,123
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,117
Individuelles Fachinteresse	- 0,006
Lernende äußern eine organisatorische Aussage.	
Individuelle Lernvoraussetzung	r_p
Konzeptbezogenes Vorwissen (Fachwissen zu Messzeitpunkt 1)	- 0,083
Kognitive Grundfähigkeiten	0,054
Prozessbezogenes Wissen zum Experimentieren	0,056
Individuelles Fachinteresse	0,137

Tabelle A.3: Korrelationskoeffizienten zwischen genutzten Lerntätigkeiten und auftretenden Schwierigkeiten

Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung	
Lerntätigkeit	r_{pbis}
Lernende sichten das Material.	0,039
Lernende besprechen oder diskutieren die Zielsetzung der Experimentieraufgabe.	0,044
Lernende beschreiben den Nutzen des Materials.	0,153
Lernende beschreiben ein Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabe.	0,058
Lernende formulieren eine Vermutung.	0,119
Lernende führen eine einfache experimentelle Handlung zur Vor- oder Nachbereitung eines Ansatzes aus.	0,166
Lernende führen eine experimentelle, aufgabenbezogene Handlung aus.	0,087
Lernende nehmen aufgabenrelevante Variablen wahr.	0,115
Lernende beschreiben oder benennen Ausprägungen aufgabenrelevanter Beobachtungen oder Messwerte.	0,064
Lernende setzen Beobachtungen aufgabenbezogen miteinander in Beziehung.	0,079
Lernende leiten Zusammenhänge aus den Beobachtungen ab.	0,190
Lernende beschreiben aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,225
Lernende erläutern aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,068
Lernende diskutieren aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,260
Lernende betrachten das Lernmaterial.	0,016
Lernende geben Informationen des Lernmaterials wieder.	0,109
Lernende wenden Informationen des Lernmaterials an.	0,046
Lernende arbeiten nicht aufgabenbezogen.	0,110
Lernende stellen eine konzeptbezogene Frage.	0,333
Lernende stellen eine prozessbezogene Frage.	0,139
Lernende äußern eine organisatorische Aussage.	0,357

Tabelle A.3 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen genutzten Lerntätigkeiten und auftretenden Schwierigkeiten

Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	
Lerntätigkeit	r_{pbis}
Lernende sichten das Material.	0,206
Lernende besprechen oder diskutieren die Zielsetzung der Experimentieraufgabe.	0,037
Lernende beschreiben den Nutzen des Materials.	0,126
Lernende beschreiben ein Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabe.	0,148
Lernende formulieren eine Vermutung.	0,078
Lernende führen eine einfache experimentelle Handlung zur Vor- oder Nachbereitung eines Ansatzes aus.	0,034
Lernende führen eine experimentelle, aufgabenbezogene Handlung aus.	0,318
Lernende verfolgen eine durchführungsbezogene Tätigkeit eines anderen Lernenden in der Gruppe.	0,186
Lernende nehmen aufgabenrelevante Variablen wahr.	0,089
Lernende beschreiben oder benennen Ausprägungen aufgabenrelevanter Beobachtungen oder Messwerte.	0,015
Lernende setzen Beobachtungen aufgabenbezogen miteinander in Beziehung.	0,179
Lernende leiten Zusammenhänge aus den Beobachtungen ab.	0,055
Lernende beschreiben aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,026
Lernende erläutern aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,200
Lernende diskutieren aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,101
Lernende betrachten das Lernmaterial.	0,195
Lernende geben Informationen des Lernmaterials wieder.	0,060
Lernende wenden Informationen des Lernmaterials an.	0,113
Lernende arbeiten nicht aufgabenbezogen.	0,272
Lernende stellen eine konzeptbezogene Frage.	0,383
Lernende stellen eine prozessbezogene Frage.	0,384
Lernende äußern eine organisatorische Aussage.	0,429

Tabelle A.3 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen genutzten Lerntätigkeiten und auftretenden Schwierigkeiten

Unsystematische Untersuchungen	
Lerntätigkeit	r_{pbis}
Lernende sichten das Material.	0,126
Lernende besprechen oder diskutieren die Zielsetzung der Experimentieraufgabe.	0,041
Lernende beschreiben den Nutzen des Materials.	0,020
Lernende beschreiben ein Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabe.	0,198
Lernende formulieren eine Vermutung.	0,096
Lernende führen eine einfache experimentelle Handlung zur Vor- oder Nachbereitung eines Ansatzes aus.	0,113
Lernende führen eine experimentelle, aufgabenbezogene Handlung aus.	0,459
Lernende nehmen aufgabenrelevante Variablen wahr.	0,352
Lernende beschreiben oder benennen Ausprägungen aufgabenrelevanter Beobachtungen oder Messwerte.	0,128
Lernende setzen Beobachtungen aufgabenbezogen miteinander in Beziehung.	0,111
Lernende leiten Zusammenhänge aus den Beobachtungen ab.	0,066
Lernende beschreiben aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,170
Lernende erläutern aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,060
Lernende diskutieren aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,011
Lernende betrachten das Lernmaterial.	0,116
Lernende geben Informationen des Lernmaterials wieder.	0,154
Lernende wenden Informationen des Lernmaterials an.	0,042
Lernende arbeiten nicht aufgabenbezogen.	0,201
Lernende stellen eine konzeptbezogene Frage.	0,047
Lernende stellen eine prozessbezogene Frage.	0,133
Lernende äußern eine organisatorische Aussage.	0,073

Tabelle A.3 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen genutzten Lerntätigkeiten und auftretenden Schwierigkeiten

Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	
Lerntätigkeit	r_{pbis}
Lernende sichten das Material.	0,173
Lernende besprechen oder diskutieren die Zielsetzung der Experimentieraufgabe.	0,155
Lernende beschreiben den Nutzen des Materials.	0,014
Lernende beschreiben ein Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabe.	0,062
Lernende formulieren eine Vermutung.	0,004
Lernende führen eine einfache experimentelle Handlung zur Vor- oder Nachbereitung eines Ansatzes aus.	0,055
Lernende führen eine experimentelle, aufgabenbezogene Handlung aus.	0,104
Lernende nehmen aufgabenrelevante Variablen wahr.	0,072
Lernende beschreiben oder benennen Ausprägungen aufgabenrelevanter Beobachtungen oder Messwerte.	0,075
Lernende setzen Beobachtungen aufgabenbezogen miteinander in Beziehung.	0,126
Lernende leiten Zusammenhänge aus den Beobachtungen ab.	0,036
Lernende beschreiben aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,025
Lernende erläutern aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,190
Lernende diskutieren aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,006
Lernende betrachten das Lernmaterial.	0,005
Lernende geben Informationen des Lernmaterials wieder.	0,016
Lernende wenden Informationen des Lernmaterials an.	0,261
Lernende arbeiten nicht aufgabenbezogen.	0,004
Lernende stellen eine konzeptbezogene Frage.	0,093
Lernende stellen eine prozessbezogene Frage.	0,154
Lernende äußern eine organisatorische Aussage.	0,183

Tabelle A.3 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen genutzten Lerntätigkeiten und auftretenden Schwierigkeiten

Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	
Lerntätigkeit	r_{pbis}
Lernende sichten das Material.	0,092
Lernende besprechen oder diskutieren die Zielsetzung der Experimentieraufgabe.	0,095
Lernende beschreiben den Nutzen des Materials.	0,104
Lernende beschreiben ein Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabe.	0,145
Lernende formulieren eine Vermutung.	0,060
Lernende führen eine einfache experimentelle Handlung zur Vor- oder Nachbereitung eines Ansatzes aus.	0,304
Lernende führen eine experimentelle, aufgabenbezogene Handlung aus.	0,045
Lernende nehmen aufgabenrelevante Variablen wahr.	0,139
Lernende beschreiben oder benennen Ausprägungen aufgabenrelevanter Beobachtungen oder Messwerte.	0,182
Lernende setzen Beobachtungen aufgabenbezogen miteinander in Beziehung.	0,025
Lernende leiten Zusammenhänge aus den Beobachtungen ab.	0,021
Lernende beschreiben aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,095
Lernende erläutern aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,059
Lernende diskutieren aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,064
Lernende betrachten das Lernmaterial.	0,012
Lernende geben Informationen des Lernmaterials wieder.	0,040
Lernende wenden Informationen des Lernmaterials an.	0,009
Lernende arbeiten nicht aufgabenbezogen.	0,179
Lernende stellen eine konzeptbezogene Frage.	0,141
Lernende stellen eine prozessbezogene Frage.	0,211
Lernende äußern eine organisatorische Aussage.	0,307

Tabelle A.3: Korrelationskoeffizienten zwischen genutzten Lerntätigkeiten und auftretenden Schwierigkeiten

Ungünstige Versuchsbedingungen	
Lerntätigkeit	r_{pbis}
Lernende sichten das Material.	0,205
Lernende besprechen oder diskutieren die Zielsetzung der Experimentieraufgabe.	0,018
Lernende beschreiben den Nutzen des Materials.	0,085
Lernende beschreiben ein Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabe.	0,084
Lernende formulieren eine Vermutung.	0,091
Lernende führen eine einfache experimentelle Handlung zur Vor- oder Nachbereitung eines Ansatzes aus.	0,251
Lernende führen eine experimentelle, aufgabenbezogene Handlung aus.	0,160
Lernende nehmen aufgabenrelevante Variablen wahr.	0,071
Lernende beschreiben oder benennen Ausprägungen aufgabenrelevanter Beobachtungen oder Messwerte.	0,122
Lernende setzen Beobachtungen aufgabenbezogen miteinander in Beziehung.	0,098
Lernende leiten Zusammenhänge aus den Beobachtungen ab.	0,049
Lernende beschreiben aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,092
Lernende erläutern aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,259
Lernende diskutieren aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,097
Lernende betrachten das Lernmaterial.	0,078
Lernende geben Informationen des Lernmaterials wieder.	0,067
Lernende wenden Informationen des Lernmaterials an.	0,038
Lernende arbeiten nicht aufgabenbezogen.	0,006
Lernende stellen eine konzeptbezogene Frage.	0,128
Lernende stellen eine prozessbezogene Frage.	0,067
Lernende äußern eine organisatorische Aussage.	0,010

Tabelle A.3 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen genutzten Lerntätigkeiten und auftretenden Schwierigkeiten

Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	
Lerntätigkeit	r_{pbis}
Lernende sichten das Material.	0,125
Lernende besprechen oder diskutieren die Zielsetzung der Experimentieraufgabe.	0,165
Lernende beschreiben den Nutzen des Materials.	0,119
Lernende beschreiben ein Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabe.	0,015
Lernende formulieren eine Vermutung.	0,035
Lernende führen eine einfache experimentelle Handlung zur Vor- oder Nachbereitung eines Ansatzes aus.	0,192
Lernende führen eine experimentelle, aufgabenbezogene Handlung aus.	0,088
Lernende nehmen aufgabenrelevante Variablen wahr.	0,003
Lernende beschreiben oder benennen Ausprägungen aufgabenrelevanter Beobachtungen oder Messwerte.	0,085
Lernende setzen Beobachtungen aufgabenbezogen miteinander in Beziehung.	0,072
Lernende leiten Zusammenhänge aus den Beobachtungen ab.	0,140
Lernende beschreiben aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,328
Lernende erläutern aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,226
Lernende diskutieren aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,085
Lernende betrachten das Lernmaterial.	0,065
Lernende geben Informationen des Lernmaterials wieder.	0,210
Lernende wenden Informationen des Lernmaterials an.	0,122
Lernende arbeiten nicht aufgabenbezogen.	0,052
Lernende stellen eine konzeptbezogene Frage.	0,082
Lernende stellen eine prozessbezogene Frage.	0,109
Lernende äußern eine organisatorische Aussage.	0,120

Tabelle A.3: Korrelationskoeffizienten zwischen genutzten Lerntätigkeiten und auftretenden Schwierigkeiten

Tabelle A.3 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen genutzten Lerntätigkeiten und auftretenden Schwierigkeiten

Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	
Lerntätigkeit	r_{pbis}
Lernende sichten das Material.	0,144
Lernende besprechen oder diskutieren die Zielsetzung der Experimentieraufgabe.	0,064
Lernende beschreiben den Nutzen des Materials.	0,021
Lernende beschreiben ein Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabe.	0,004
Lernende formulieren eine Vermutung.	0,134
Lernende führen eine einfache experimentelle Handlung zur Vor- oder Nachbereitung eines Ansatzes aus.	0,144
Lernende führen eine experimentelle, aufgabenbezogene Handlung aus.	0,283
Lernende nehmen aufgabenrelevante Variablen wahr.	0,265
Lernende beschreiben oder benennen Ausprägungen aufgabenrelevanter Beobachtungen oder Messwerte.	0,146
Lernende setzen Beobachtungen aufgabenbezogen miteinander in Beziehung.	0,166
Lernende leiten Zusammenhänge aus den Beobachtungen ab.	0,118
Lernende beschreiben aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,075
Lernende erläutern aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,032
Lernende diskutieren aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,007
Lernende betrachten das Lernmaterial.	0,202
Lernende geben Informationen des Lernmaterials wieder.	0,150
Lernende wenden Informationen des Lernmaterials an.	0,083
Lernende arbeiten nicht aufgabenbezogen.	0,022
Lernende stellen eine konzeptbezogene Frage.	0,128
Lernende stellen eine prozessbezogene Frage.	0,031
Lernende äußern eine organisatorische Aussage.	0,055

Tabelle A.3 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen genutzten Lerntätigkeiten und auftretenden Schwierigkeiten

Fehler beim Schlussfolgern	
Lerntätigkeit	r_{pbis}
Lernende sichten das Material.	0,119
Lernende besprechen oder diskutieren die Zielsetzung der Experimentieraufgabe.	0,056
Lernende beschreiben den Nutzen des Materials.	0,146
Lernende beschreiben ein Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabe.	0,163
Lernende formulieren eine Vermutung.	0,191
Lernende führen eine einfache experimentelle Handlung zur Vor- oder Nachbereitung eines Ansatzes aus.	0,022
Lernende führen eine experimentelle, aufgabenbezogene Handlung aus.	0,279
Lernende nehmen aufgabenrelevante Variablen wahr.	0,107
Lernende beschreiben oder benennen Ausprägungen aufgabenrelevanter Beobachtungen oder Messwerte.	0,142
Lernende setzen Beobachtungen aufgabenbezogen miteinander in Beziehung.	0,091
Lernende leiten Zusammenhänge aus den Beobachtungen ab.	0,017
Lernende beschreiben aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,104
Lernende erläutern aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,088
Lernende diskutieren aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,255
Lernende betrachten das Lernmaterial.	0,198
Lernende geben Informationen des Lernmaterials wieder.	0,025
Lernende wenden Informationen des Lernmaterials an.	0,109
Lernende arbeiten nicht aufgabenbezogen.	0,045
Lernende stellen eine konzeptbezogene Frage.	0,119
Lernende stellen eine prozessbezogene Frage.	0,076
Lernende äußern eine organisatorische Aussage.	0,128

Tabelle A.3 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen genutzten Lerntätigkeiten und auftretenden Schwierigkeiten

Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	
Lerntätigkeit	r_{pbis}
Lernende sichten das Material.	0,337
Lernende besprechen oder diskutieren die Zielsetzung der Experimentieraufgabe.	0,189
Lernende beschreiben den Nutzen des Materials.	0,000
Lernende beschreiben ein Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabe.	0,091
Lernende formulieren eine Vermutung.	0,082
Lernende führen eine einfache experimentelle Handlung zur Vor- oder Nachbereitung eines Ansatzes aus.	0,119
Lernende führen eine experimentelle, aufgabenbezogene Handlung aus.	0,382
Lernende nehmen aufgabenrelevante Variablen wahr.	0,313
Lernende beschreiben oder benennen Ausprägungen aufgabenrelevanter Beobachtungen oder Messwerte.	0,162
Lernende setzen Beobachtungen aufgabenbezogen miteinander in Beziehung.	0,317
Lernende leiten Zusammenhänge aus den Beobachtungen ab.	0,296
Lernende beschreiben aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,143
Lernende erläutern aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,085
Lernende diskutieren aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,102
Lernende betrachten das Lernmaterial.	0,193
Lernende geben Informationen des Lernmaterials wieder.	0,039
Lernende wenden Informationen des Lernmaterials an.	0,058
Lernende arbeiten nicht aufgabenbezogen.	0,080
Lernende stellen eine konzeptbezogene Frage.	0,077
Lernende stellen eine prozessbezogene Frage.	0,147
Lernende äußern eine organisatorische Aussage.	0,177

Tabelle A.3 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen genutzten Lerntätigkeiten und auftretenden Schwierigkeiten

Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	
Lerntätigkeit	r_{pbis}
Lernende sichten das Material.	0,055
Lernende besprechen oder diskutieren die Zielsetzung der Experimentieraufgabe.	0,194
Lernende beschreiben den Nutzen des Materials.	0,110
Lernende beschreiben ein Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabe.	0,019
Lernende formulieren eine Vermutung.	0,075
Lernende führen eine einfache experimentelle Handlung zur Vor- oder Nachbereitung eines Ansatzes aus.	0,199
Lernende führen eine experimentelle, aufgabenbezogene Handlung aus.	0,092
Lernende nehmen aufgabenrelevante Variablen wahr.	0,030
Lernende beschreiben oder benennen Ausprägungen aufgabenrelevanter Beobachtungen oder Messwerte.	0,030
Lernende setzen Beobachtungen aufgabenbezogen miteinander in Beziehung.	0,209
Lernende leiten Zusammenhänge aus den Beobachtungen ab.	0,210
Lernende beschreiben aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,250
Lernende erläutern aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,157
Lernende diskutieren aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,050
Lernende betrachten das Lernmaterial.	0,329
Lernende geben Informationen des Lernmaterials wieder.	0,159
Lernende wenden Informationen des Lernmaterials an.	0,190
Lernende arbeiten nicht aufgabenbezogen.	0,035
Lernende stellen eine konzeptbezogene Frage.	0,056
Lernende stellen eine prozessbezogene Frage.	0,134
Lernende äußern eine organisatorische Aussage.	0,417

Tabelle A.3 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen genutzten Lerntätigkeiten und auftretenden Schwierigkeiten

Unvollständige Lösung der Aufgabe	
Lerntätigkeit	r_{pbis}
Lernende sichten das Material.	0,068
Lernende besprechen oder diskutieren die Zielsetzung der Experimentieraufgabe.	0,120
Lernende beschreiben den Nutzen des Materials.	0,200
Lernende beschreiben ein Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabe.	0,115
Lernende formulieren eine Vermutung.	0,133
Lernende führen eine einfache experimentelle Handlung zur Vor- oder Nachbereitung eines Ansatzes aus.	0,086
Lernende führen eine experimentelle, aufgabenbezogene Handlung aus.	0,184
Lernende nehmen aufgabenrelevante Variablen wahr.	0,212
Lernende beschreiben oder benennen Ausprägungen aufgabenrelevanter Beobachtungen oder Messwerte.	0,050
Lernende setzen Beobachtungen aufgabenbezogen miteinander in Beziehung.	0,111
Lernende leiten Zusammenhänge aus den Beobachtungen ab.	0,093
Lernende beschreiben aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,234
Lernende erläutern aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,107
Lernende diskutieren aufgabenbezogene Schlussfolgerungen.	0,152
Lernende betrachten das Lernmaterial.	0,214
Lernende geben Informationen des Lernmaterials wieder.	0,030
Lernende wenden Informationen des Lernmaterials an.	0,017
Lernende arbeiten nicht aufgabenbezogen.	0,415
Lernende stellen eine konzeptbezogene Frage.	0,064
Lernende stellen eine prozessbezogene Frage.	0,172
Lernende äußern eine organisatorische Aussage.	0,055

Tabelle A.4: Korrelationskoeffizienten zwischen den auftretenden Schwierigkeiten

Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung	
Auftretende Schwierigkeit	φ
Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	0,214
Unsystematische Untersuchungen	0,095
Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	0,083
Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	0,300
Ungünstige Versuchsbedingungen	0,199
Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	-0,098
Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	0,368
Fehler beim Schlussfolgern	0,181
Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	0,320
Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	-0,234
Unvollständige Lösung der Aufgabe	0,262
Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	
Auftretende Schwierigkeit	φ
Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung	0,214
Unsystematische Untersuchungen	-0,242
Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	-0,235
Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	0,139
Ungünstige Versuchsbedingungen	-0,116
Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	-0,053
Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	-0,066
Fehler beim Schlussfolgern	0,461
Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	-0,226
Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	0,178
Unvollständige Lösung der Aufgabe	-0,115

Tabelle A.4 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen den auftretenden Schwierigkeiten

Unsystematische Untersuchungen	
Auftretende Schwierigkeit	φ
Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung	0,095
Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	-0,242
Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	0,120
Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	0,096
Ungünstige Versuchsbedingungen	0,054
Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	-0,179
Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	0,490
Fehler beim Schlussfolgern	-0,176
Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	0,371
Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	-0,145
Unvollständige Lösung der Aufgabe	0,454
Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	
Auftretende Schwierigkeit	φ
Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung	0,083
Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	-0,235
Unsystematische Untersuchungen	0,120
Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	-0,111
Ungünstige Versuchsbedingungen	0,059
Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	0,095
Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	0,172
Fehler beim Schlussfolgern	-0,314
Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	0,119
Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	0,003
Unvollständige Lösung der Aufgabe	-0,042

Tabelle A.4 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen den auftretenden Schwierigkeiten

Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	
Auftretende Schwierigkeit	φ
Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung	0,300
Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	0,139
Unsystematische Untersuchungen	0,096
Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	-0,111
Ungünstige Versuchsbedingungen	0,205
Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	0,024
Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	0,167
Fehler beim Schlussfolgern	-0,005
Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	0,167
Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	-0,215
Unvollständige Lösung der Aufgabe	0,184
Ungünstige Versuchsbedingungen	
Auftretende Schwierigkeit	φ
Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung	0,199
Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	-0,116
Unsystematische Untersuchungen	0,054
Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	0,059
Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	0,205
Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	-0,027
Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	0,197
Fehler beim Schlussfolgern	-0,246
Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	0,399
Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	-0,125
Unvollständige Lösung der Aufgabe	0,158

Tabelle A.4 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen den auftretenden Schwierigkeiten

Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	
Auftretende Schwierigkeit	φ
Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung	-0,098
Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	-0,053
Unsystematische Untersuchungen	-0,179
Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	0,095
Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	0,024
Ungünstige Versuchsbedingungen	-0,027
Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	-0,121
Fehler beim Schlussfolgern	-0,079
Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	-0,067
Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	0,223
Unvollständige Lösung der Aufgabe	-0,125
Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	
Auftretende Schwierigkeit	φ
Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung	0,368
Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	-0,066
Unsystematische Untersuchungen	0,490
Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	0,172
Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	0,167
Ungünstige Versuchsbedingungen	0,197
Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	-0,121
Fehler beim Schlussfolgern	0,032
Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	0,524
Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	-0,197
Unvollständige Lösung der Aufgabe	0,412

Tabelle A.4 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen den auftretenden Schwierigkeiten

Fehler beim Schlussfolgern	
Auftretende Schwierigkeit	φ
Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung	0,181
Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	0,461
Unsystematische Untersuchungen	-0,176
Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	-0,314
Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	-0,005
Ungünstige Versuchsbedingungen	-0,246
Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	-0,079
Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	0,032
Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	-0,048
Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	0,085
Unvollständige Lösung der Aufgabe	0,065
Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	
Auftretende Schwierigkeit	φ
Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung	0,320
Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	-0,226
Unsystematische Untersuchungen	0,371
Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	0,119
Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	0,167
Ungünstige Versuchsbedingungen	0,399
Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	-0,067
Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	0,524
Fehler beim Schlussfolgern	-0,048
Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	-0,024
Unvollständige Lösung der Aufgabe	0,462

Tabelle A.4 (Fortsetzung): Korrelationskoeffizienten zwischen den auftretenden Schwierigkeiten

Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	
Auftretende Schwierigkeit	φ
Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung	-0,234
Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	0,178
Unsystematische Untersuchungen	-0,145
Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	0,003
Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	-0,215
Ungünstige Versuchsbedingungen	-0,125
Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	0,223
Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	-0,197
Fehler beim Schlussfolgern	0,085
Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	-0,024
Unvollständige Lösung der Aufgabe	-0,214
Unvollständige Lösung der Aufgabe	
Auftretende Schwierigkeit	φ
Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung	0,262
Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten	-0,115
Unsystematische Untersuchungen	0,454
Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge	-0,042
Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial	0,184
Ungünstige Versuchsbedingungen	0,158
Inhaltliche und verständnisbezogene Fehler	-0,125
Fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial	0,412
Fehler beim Schlussfolgern	0,065
Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge	0,462
Fehlerhafte Lösung der Aufgabe	-0,214

VIII ZUR PERSON

Lebenslauf

Name: Dennis Kirstein
Geburtsdatum: 05. August 1991
Geburtsort: Werne an der Lippe
Staatsangehörigkeit: deutsch

Werdegang

- seit 08/2022** Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Didaktik der Chemie (AG Prof. Dr. Stefan Rumann), Universität Duisburg-Essen
- seit 08/2022** Lehrtätigkeit im Fach Chemie an der Justus-von-Liebig-Schule Moers (Hauptschule)
- 05/2022 – 07/2022** Lehrer für die Fächer Mathematik, Chemie und Deutsch als Zweitsprache an der Justus-von-Liebig-Schule Moers (Hauptschule)
- 11/2020 - 04/2022** Vorbereitungsdienst am Zentrum für schulpraktische Lehrerbildung Kleve für das Lehramt an Haupt-, Real-, Sekundar- und Gesamtschulen (Sekundarstufe I)
Ausbildungsschule: Geschwister-Scholl-Gesamtschule Moers
Abschluss: 2. Staatsexamen
- 10/2016 - 10/2020** Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Didaktik der Chemie (AG Prof. Dr. Maik Walpuski), Universität Duisburg-Essen
- 02/2016 - 09/2016** Wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Didaktik der Chemie (AG Prof. Dr. Maik Walpuski), Universität Duisburg-Essen
- 04/2015 - 01/2016** Studentische Hilfskraft am Institut für Didaktik der Chemie (AG Prof. Dr. Maik Walpuski), Universität Duisburg-Essen

- 10/2014 - 09/2016** Master-Studium der Fächer Mathematik und Chemie für das Lehramt an Haupt-, Real- und Gesamtschulen, Universität Duisburg-Essen.
Abschluss: Master of Education mit Auszeichnung
- 03/2014 - 05/2015** Studentische Hilfskraft am Institut für Didaktik der Mathematik (AG Prof. Bärbel Barzel), Universität Duisburg-Essen
- 09/2013 - 02/2015** Lehrtätigkeit im Bereich der individuellen Förderung an der Marga-Spiegel-Sekundarschule in Werne
- 10/2011 - 09/2014** Bachelor-Studium der Fächer Mathematik und Chemie für das Lehramt an Haupt-, Real- und Gesamtschulen, Universität Duisburg-Essen.
Abschluss: Bachelor of Science
- 2002 – 2011** Städtisches Gymnasium Bergkamen.
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

Auszeichnungen und Preise

- 2018** Förderpreis Lehrerausbildung der Universitätsallianz Ruhr in der Kategorie „Innovative Lehrkonzepte im Studiengang Master of Education“ mit der Lehrveranstaltung „Kontextorientierter Sach- und Chemieunterricht“
- 2016** Studienpreis der Fakultät für Chemie an der Universität Duisburg-Essen für den besten Studienabschluss im Fach Chemie für das Lehramt an Haupt-, Real- und Gesamtschulen

Präsentationen und Vorträge

- 2023** Kirstein, D. & Walpuski, M. (2023). Differentielle Wirksamkeit von Schwierigkeiten beim Experimentieren im Fach Chemie. GEBF Jahrestagung 2023, Essen, Deutschland (Vortrag)
- 2022** Kirstein, D. & Walpuski, M. (2022). Lernvoraussetzungen als Bedingungsfaktoren für Schwierigkeiten beim Experimentieren. GDCP Jahrestagung 2022, Aachen, Deutschland (Vortrag)

Beese, M., Kirstein, D., Krake, H. & Schiolko, M. (2022). Chemische Konzepte und Sprache im Übergang-Ein Seminarkonzept zur praxisnahen Ausbildung von Lehramtsstudierenden in den Fächern Sachunterricht und Chemie in der Sekundarstufe I. ProDaZ Abschlussstagung, Essen, Deutschland (Poster)

2021 Beese, M., Kirstein, D., & Krake, H. (2021). Sprachsensibler Chemieunterricht-fachliches und sprachliches Lernen produktiv verknüpfen (Lehrerfortbildung)

Beese, M., Kirstein, D. & Walpuski, M. (2021). Verständnis fördern, Sprache in den Blick nehmen. Bausteine des sprachsensiblen Chemieunterrichts. Herbsttagung des MNU-Landesverbandes Westfalen 2021, Online (Vortrag)

2019 Kirstein, D., Habig, S., & Walpuski, M. (2019). Individuelles Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben im Chemieunterricht. GDCP Jahrestagung 2019, Wien, Österreich (Vortrag)

Kirstein, D., Habig, S., & Walpuski, M. (2019). Diverse Students, Diverse Inquiry? Hands-on Inquiry Learning in Heterogeneous Chemistry Classrooms. ESERA 2019 Conference, Bologna, Italien (Vortrag)

Schneider, V., Kirstein, D., & Stachelscheid, K. (2019). Vernetzt, Visualisiert & Vorbereitet-Concept Maps als Instrument zur Unterrichtsplanung in der Lehrerausbildung. GDSU Jahrestagung 2019, Lüneburg, Deutschland. (Vortrag)

2018 Kirstein, D., & Habig, S. (2018). Individualität! Auch beim Experimentieren?! Individualisierung und Differenzierung durch offene und kompetenzorientierte Lernaufgaben beim Experimentieren. Herbstschule der Universität Duisburg-Essen, Essen, Deutschland. (Workshop)

Kirstein, D., Habig, S., & Walpuski, M. (2018). Adaptives Lernen beim Experimentieren im Chemieunterricht. GDCP Jahrestagung 2018, Kiel, Deutschland. (Poster)

Kirstein, D., Habig, S., & Walpuski, M. (2018). Considering Students' Individual Differences in Hands-on Inquiry Learning. ICCE 2018, Sydney, Australien. (Vortrag)

Kirstein, D., Habig, S., & Walpuski, M. (2018). Adaptive Unterstützung beim Experimentieren in leistungsheterogenen Lerngruppen im Fach Chemie. GEBF Tagung 2018, Basel, Schweiz. (Poster)

2017 Kirstein, D., Habig, S., & Walpuski, M. (2017). Umgang mit Leistungsheterogenität beim Experimentieren im Fach Chemie. GDCP Doktorierendenkolloquium 2017, Essen, Deutschland. (Vortrag)

Kirstein, D., Habig, S., & Walpuski, M. (2017). Umgang mit Leistungsheterogenität beim Experimentieren im Fach Chemie. GDCP Jahrestagung 2017, Regensburg, Deutschland. (Poster)

Kirstein, D., Habig, S., & Walpuski, M. (2017). Dealing with Learners' Diversity in Performance during Experimental Inquiry-Learning in Chemistry. ESERA 2017 Conference, Dublin, Irland (Poster).

Veröffentlichungen

2022 Beese, M., Kirstein, D., & Krake, H. (2022). Chemische Konzepte und Sprache im Übergang-Ein Seminarkonzept zur praxisnahen Ausbildung von Lehramtsstudierenden in den Fächern Sachunterricht und Chemie in der Sekundarstufe I. In F. Schacht & S. Guckelsberger (Hrsg.), Sprachbildung in der Lehramtsausbildung Mathematik. Konzepte für eine sprachbewusste Hochschullehre (S. 150-157). Heidelberg: Springer.

2020 Kirstein, D., Habig, S. & Walpuski, M. (2020). Diverse Students, Diverse Inquiry? Hands-On Inquiry Learning in Heterogeneous Chemistry Classrooms. (S. 222-228). Levrini, O. & Tasquier, G. (Hrsg.) (2020). Electronic Proceedings of the ESERA 2019 Conference. The Beauty and Pleasure of Understanding: Engaging With Contemporary Challenges Through Science Education, Bologna: ALMA MATER STUDIORUM – University of Bologna.

Kirstein, D., Habig, S. & Walpuski, M. (2020). Individuelles Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben im Chemieunterricht. In: S. Habig (Hrsg.), Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019. (S. 82-85). Universität Duisburg-Essen

2019 Bebernik, R., Kirstein, D., Türk, Ü., & Beese, M. (2019). TRENNTivity - Fachsprache im Themenfeld "Stoffgemische und Trennverfahren" spielerisch üben und anwenden. In: Naturwissenschaften im Unterricht Chemie - Fachsprache (Heft 173), S. 20 - 22. (Lernmaterial online verfügbar auf ProDaZ)

Kirstein, D., Habig, S. & Walpuski, M. (2019). Adaptives Lernen beim Experimentieren im Chemieunterricht. In: C. Maurer (Hrsg.), Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe.

Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018. (S. 624). Universität Regensburg

- 2018** Beese, M., & Kirstein, D. (2018). Mehr als nur Fachbegriffe - Sprachsensibler Chemieunterricht. In: Naturwissenschaften im Unterricht Chemie - Sprachsensibel unterrichten (Heft 168), S. 2 - 9.

Kirstein, D., Habig, S. & Walpuski, M. (2018). Dealing with Learners' Diversity in Performance during Experimental Inquiry-Learning in Chemistry. (S. 325-331). In: Finlayson, O.E., McLoughlin, E., Erduran, S., & Childs, P. (Hrsg.) (2018). Electronic Proceedings of the ESERA 2017 Conference. Research, Practice and Collaboration in Science Education. Dublin, Ireland: Dublin City University

Kirstein, D., Habig, S. & Walpuski, M. (2018). Umgang mit Leistungsheterogenität beim Experimentieren im Fach Chemie. In: C. Maurer (Hrsg.), Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht- normative und empirische Dimensionen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017. (S. 780). Universität Regensburg

- 2017** Koenen, J., & Kirstein, D. (2017). Ein unbekanntes Gas identifizieren - Öffnungsgrade von Experimentiersituationen. In: Naturwissenschaften im Unterricht Chemie - Experimentieren (Heft 158), S. 14 - 18

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 Physikinachhilfeunterricht während der Bearbeitung algorithmischer Physikaufgaben*
ISBN 978-3-89722-045-4 40.50 EUR
- 3 Claudia von Aufschnaiter: Bedeutungsentwicklungen, Interaktionen und situatives Erleben beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben
ISBN 978-3-89722-143-7 40.50 EUR
- 4 Susanne Haeberlen: Lernprozesse im Unterricht mit Wasserstromkreisen. *Eine Fallstudie in der Sekundarstufe I*
ISBN 978-3-89722-172-7 40.50 EUR
- 5 Kerstin Haller: Über den Zusammenhang von Handlungen und Zielen. *Eine empirische Untersuchung zu Lernprozessen im physikalischen Praktikum*
ISBN 978-3-89722-242-7 40.50 EUR
- 6 Michaela Horstendahl: Motivationale Orientierungen im Physikunterricht
ISBN 978-3-89722-227-4 50.00 EUR
- 7 Stefan Deylitz: Lernergebnisse in der Quanten-Atomphysik. *Evaluation des Bremer Unterrichtskonzepts*
ISBN 978-3-89722-291-5 40.50 EUR
- 8 Lorenz Hucke: Handlungsregulation und Wissenserwerb in traditionellen und computergestützten Experimenten des physikalischen Praktikums
ISBN 978-3-89722-316-5 50.00 EUR
- 9 Heike Theyßen: Ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin. *Darstellung der Entwicklung und Evaluation eines adressatenspezifischen Praktikums nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion*
ISBN 978-3-89722-334-9 40.50 EUR
- 10 Annette Schick: Der Einfluß von Interesse und anderen selbstbezogenen Kognitionen auf Handlungen im Physikunterricht. *Fallstudien zu Interessenhandlungen im Physikunterricht*
ISBN 978-3-89722-380-6 40.50 EUR
- 11 Roland Berger: Moderne bildgebende Verfahren der medizinischen Diagnostik. *Ein Weg zu interessanterem Physikunterricht*
ISBN 978-3-89722-445-2 40.50 EUR

- 12 Johannes Werner: Vom Licht zum Atom. *Ein Unterrichtskonzept zur Quantenphysik unter Nutzung des Zeigermodells*
ISBN 978-3-89722-471-1 40.50 EUR
- 13 Florian Sander: Verbindung von Theorie und Experiment im physikalischen Praktikum. *Eine empirische Untersuchung zum handlungsbezogenen Vorverständnis und dem Einsatz grafikorientierter Modellbildung im Praktikum*
ISBN 978-3-89722-482-7 40.50 EUR
- 14 Jörn Gerdes: Der Begriff der physikalischen Kompetenz. *Zur Validierung eines Konstruktes*
ISBN 978-3-89722-510-7 40.50 EUR
- 15 Malte Meyer-Arndt: Interaktionen im Physikpraktikum zwischen Studierenden und Betreuern. *Feldstudie zu Bedeutungsentwicklungsprozessen im physikalischen Praktikum*
ISBN 978-3-89722-541-1 40.50 EUR
- 16 Dietmar Höttecke: Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen. *Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen*
ISBN 978-3-89722-607-4 40.50 EUR
- 17 Gil Gabriel Mavanga: Entwicklung und Evaluation eines experimentell- und phänomenorientierten Optikcurriculums. *Untersuchung zu Schülervorstellungen in der Sekundarstufe I in Mosambik und Deutschland*
ISBN 978-3-89722-721-7 40.50 EUR
- 18 Meike Ute Zastrow: Interaktive Experimentieranleitungen. *Entwicklung und Evaluation eines Konzeptes zur Vorbereitung auf das Experimentieren mit Messgeräten im Physikalischen Praktikum*
ISBN 978-3-89722-802-3 40.50 EUR
- 19 Gunnar Friege: Wissen und Problemlösen. *Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs*
ISBN 978-3-89722-809-2 40.50 EUR
- 20 Erich Starauschek: Physikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs. *Ergebnisse einer Evaluationsstudie*
ISBN 978-3-89722-823-8 40.50 EUR
- 21 Roland Paatz: Charakteristika analogiebasierten Denkens. *Vergleich von Lernprozessen in Basis- und Zielbereich*
ISBN 978-3-89722-944-0 40.50 EUR
- 22 Silke Mikelskis-Seifert: Die Entwicklung von 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 Gasgesetz. *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 Hausaufgabenformats im Themenbereich Säure-Base*
978-3-8325-1975-9 37.00 EUR
- 84 Marco Thiele: Modelle der Thermohalinen Zirkulation im Unterricht. *Eine empirische Studie zur Förderung des Modellverständnisses*
ISBN 978-3-8325-1982-7 40.50 EUR
- 85 Bernd Zinn: Physik lernen, um Physik zu lehren. *Eine Möglichkeit für interessanteren Physikunterricht*
ISBN 978-3-8325-1995-7 39.50 EUR
- 86 Esther Klaes: Außerschulische Lernorte im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Die Perspektive der Lehrkraft*
ISBN 978-3-8325-2006-9 43.00 EUR
- 87 Marita Schmidt: Kompetenzmodellierung und -diagnostik im Themengebiet Energie der Sekundarstufe I. *Entwicklung und Erprobung eines Testinventars*
ISBN 978-3-8325-2024-3 37.00 EUR
- 88 Gudrun Franke-Braun: Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. *Ein Aufgabenformat zur Förderung der sachbezogenen Kommunikation und Lernleistung für den naturwissenschaftlichen Unterricht*
ISBN 978-3-8325-2026-7 38.00 EUR
- 89 Silke Klos: Kompetenzförderung im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht. *Der Einfluss eines integrierten Unterrichtskonzepts*
ISBN 978-3-8325-2133-2 37.00 EUR

- 90 Ulrike Elisabeth Burkard: Quantenphysik in der Schule. *Bestandsaufnahme, Perspektiven und Weiterentwicklungsmöglichkeiten durch die Implementation eines Medienservers*
ISBN 978-3-8325-2215-5 43.00 EUR
- 91 Ulrike Gromadecki: Argumente in physikalischen Kontexten. *Welche Geltungsgründe halten Physikanfänger für überzeugend?*
ISBN 978-3-8325-2250-6 41.50 EUR
- 92 Jürgen Bruns: Auf dem Weg zur Förderung naturwissenschaftsspezifischer Vorstellungen von zukünftigen Chemie-Lehrenden
ISBN 978-3-8325-2257-5 43.50 EUR
- 93 Cornelius Marsch: Räumliche Atomvorstellung. *Entwicklung und Erprobung eines Unterrichtskonzeptes mit Hilfe des Computers*
ISBN 978-3-8325-2293-3 82.50 EUR
- 94 Maja Brückmann: Sachstrukturen im Physikunterricht. *Ergebnisse einer Videostudie*
ISBN 978-3-8325-2272-8 39.50 EUR
- 95 Sabine Fechner: Effects of Context-oriented Learning on Student Interest and Achievement in Chemistry Education
ISBN 978-3-8325-2343-5 36.50 EUR
- 96 Clemens Nagel: eLearning im Physikalischen Anfängerpraktikum
ISBN 978-3-8325-2355-8 39.50 EUR
- 97 Josef Riese: Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften
ISBN 978-3-8325-2376-3 39.00 EUR
- 98 Sascha Bernholt: Kompetenzmodellierung in der Chemie. *Theoretische und empirische Reflexion am Beispiel des Modells hierarchischer Komplexität*
ISBN 978-3-8325-2447-0 40.00 EUR
- 99 Holger Christoph Stawitz: Auswirkung unterschiedlicher Aufgabenprofile auf die Schülerleistung. *Vergleich von Naturwissenschafts- und Problemlöseaufgaben der PISA 2003-Studie*
ISBN 978-3-8325-2451-7 37.50 EUR
- 100 Hans Ernst Fischer, Elke Sumfleth (Hrsg.): nwu-essen – 10 Jahre Essener Forschung zum naturwissenschaftlichen Unterricht
ISBN 978-3-8325-3331-1 40.00 EUR
- 101 Hendrik Härtig: Sachstrukturen von Physikschulbüchern als Grundlage zur Bestimmung der Inhaltsvalidität eines Tests
ISBN 978-3-8325-2512-5 34.00 EUR
- 102 Thomas Grüß-Niehaus: Zum Verständnis des Löslichkeitskonzeptes im Chemieunterricht. *Der Effekt von Methoden progressiver und kollaborativer Reflexion*
ISBN 978-3-8325-2537-8 40.50 EUR

- 103 Patrick Bronner: Quantenoptische Experimente als Grundlage eines Curriculums zur Quantenphysik des Photons
ISBN 978-3-8325-2540-8 36.00 EUR
- 104 Adrian Voßkühler: Blickbewegungsmessung an Versuchsaufbauten. *Studien zur Wahrnehmung, Verarbeitung und Usability von physikbezogenen Experimenten am Bildschirm und in der Realität*
ISBN 978-3-8325-2548-4 47.50 EUR
- 105 Verena Tobias: Newton'sche Mechanik im Anfangsunterricht. *Die Wirksamkeit einer Einführung über die zweidimensionale Dynamik auf das Lehren und Lernen*
ISBN 978-3-8325-2558-3 54.00 EUR
- 106 Christian Rogge: Entwicklung physikalischer Konzepte in aufgabenbasierten Lernumgebungen
ISBN 978-3-8325-2574-3 45.00 EUR
- 107 Mathias Ropohl: Modellierung von Schülerkompetenzen im Basiskonzept Chemische Reaktion. *Entwicklung und Analyse von Testaufgaben*
ISBN 978-3-8325-2609-2 36.50 EUR
- 108 Christoph Kulgemeyer: Physikalische Kommunikationskompetenz. *Modellierung und Diagnostik*
ISBN 978-3-8325-2674-0 44.50 EUR
- 109 Jennifer Olszewski: The Impact of Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge on Teacher Actions and Student Outcomes
ISBN 978-3-8325-2680-1 33.50 EUR
- 110 Annika Ohle: Primary School Teachers' Content Knowledge in Physics and its Impact on Teaching and Students' Achievement
ISBN 978-3-8325-2684-9 36.50 EUR
- 111 Susanne Mannel: Assessing scientific inquiry. *Development and evaluation of a test for the low-performing stage*
ISBN 978-3-8325-2761-7 40.00 EUR
- 112 Michael Plomer: Physik physiologisch passend praktiziert. *Eine Studie zur Lernwirksamkeit von traditionellen und adressatenspezifischen Physikpraktika für die Physiologie*
ISBN 978-3-8325-2804-1 34.50 EUR
- 113 Alexandra Schulz: Experimentierspezifische Qualitätsmerkmale im Chemieunterricht. *Eine Videostudie*
ISBN 978-3-8325-2817-1 40.00 EUR
- 114 Franz Boczianowski: Eine empirische Untersuchung zu Vektoren im Physikunterricht der Mittelstufe
ISBN 978-3-8325-2843-0 39.50 EUR
- 115 Maria Ploog: Internetbasiertes Lernen durch Textproduktion im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-2853-9 39.50 EUR

- 116 Anja Dhein: Lernen in Explorier- und Experimentiersituationen. *Eine explorative Studie zu Bedeutungsentwicklungsprozessen bei Kindern im Alter zwischen 4 und 6 Jahren*
ISBN 978-3-8325-2859-1 45.50 EUR
- 117 Irene Neumann: Beyond Physics Content Knowledge. *Modeling Competence Regarding Nature of Scientific Inquiry and Nature of Scientific Knowledge*
ISBN 978-3-8325-2880-5 37.00 EUR
- 118 Markus Emden: Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens. *Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I*
ISBN 978-3-8325-2867-6 38.00 EUR
- 119 Birgit Hofmann: Analyse von Blickbewegungen von Schülern beim Lesen von physikbezogenen Texten mit Bildern. *Eye Tracking als Methodenwerkzeug in der physikdidaktischen Forschung*
ISBN 978-3-8325-2925-3 59.00 EUR
- 120 Rebecca Knobloch: Analyse der fachinhaltlichen Qualität von Schüleräußerungen und deren Einfluss auf den Lernerfolg. *Eine Videostudie zu kooperativer Kleingruppenarbeit*
ISBN 978-3-8325-3006-8 36.50 EUR
- 121 Julia Hostenbach: Entwicklung und Prüfung eines Modells zur Beschreibung der Bewertungskompetenz im Chemieunterricht
ISBN 978-3-8325-3013-6 38.00 EUR
- 122 Anna Windt: Naturwissenschaftliches Experimentieren im Elementarbereich. *Evaluation verschiedener Lernsituationen*
ISBN 978-3-8325-3020-4 43.50 EUR
- 123 Eva Kölbach: Kontexteinflüsse beim Lernen mit Lösungsbeispielen
ISBN 978-3-8325-3025-9 38.50 EUR
- 124 Anna Lau: Passung und vertikale Vernetzung im Chemie- und Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-3021-1 36.00 EUR
- 125 Jan Lamprecht: Ausbildungswege und Komponenten professioneller Handlungskompetenz. *Vergleich von Quereinsteigern mit Lehramtsabsolventen für Gymnasien im Fach Physik*
ISBN 978-3-8325-3035-8 38.50 EUR
- 126 Ulrike Böhm: Förderung von Verstehensprozessen unter Einsatz von Modellen
ISBN 978-3-8325-3042-6 41.00 EUR
- 127 Sabrina Dollny: Entwicklung und Evaluation eines Testinstruments zur Erfassung des fachspezifischen Professionswissens von Chemielehrkräften
ISBN 978-3-8325-3046-4 37.00 EUR
- 128 Monika Zimmermann: Naturwissenschaftliche Bildung im Kindergarten. *Eine integrative Längsschnittstudie zur Kompetenzentwicklung von Erzieherinnen*
ISBN 978-3-8325-3053-2 54.00 EUR

- 129 Ulf Saballus: Über das Schlussfolgern von Schülerinnen und Schülern zu öffentlichen Kontroversen mit naturwissenschaftlichem Hintergrund. *Eine Fallstudie*
ISBN 978-3-8325-3086-0 39.50 EUR
- 130 Olaf Krey: Zur Rolle der Mathematik in der Physik. *Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender*
ISBN 978-3-8325-3101-0 46.00 EUR
- 131 Angelika Wolf: Zusammenhänge zwischen der Eigenständigkeit im Physikunterricht, der Motivation, den Grundbedürfnissen und dem Lernerfolg von Schülern
ISBN 978-3-8325-3161-4 45.00 EUR
- 132 Johannes Börlin: Das Experiment als Lerngelegenheit. *Vom interkulturellen Vergleich des Physikunterrichts zu Merkmalen seiner Qualität*
ISBN 978-3-8325-3170-6 45.00 EUR
- 133 Olaf Uhden: Mathematisches Denken im Physikunterricht. *Theorieentwicklung und Problemanalyse*
ISBN 978-3-8325-3170-6 45.00 EUR
- 134 Christoph Gut: Modellierung und Messung experimenteller Kompetenz. *Analyse eines large-scale Experimentiertests*
ISBN 978-3-8325-3213-0 40.00 EUR
- 135 Antonio Rueda: Lernen mit ExploMultimedial in kolumbianischen Schulen. *Analyse von kurzzeitigen Lernprozessen und der Motivation beim länderübergreifenden Einsatz einer deutschen computergestützten multimedialen Lernumgebung für den naturwissenschaftlichen Unterricht*
ISBN 978-3-8325-3218-5 45.50 EUR
- 136 Krisztina Berger: Bilder, Animationen und Notizen. *Empirische Untersuchung zur Wirkung einfacher visueller Repräsentationen und Notizen auf den Wissenserwerb in der Optik*
ISBN 978-3-8325-3238-3 41.50 EUR
- 137 Antony Crossley: Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher physikalischer Konzepte auf den Wissenserwerb in der Thermodynamik der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-3275-8 40.00 EUR
- 138 Tobias Viering: Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I. *Validierung eines Kompetenzentwicklungsmodells für das Energiekonzept im Bereich Fachwissen*
ISBN 978-3-8325-3277-2 37.00 EUR
- 139 Nico Schreiber: Diagnostik experimenteller Kompetenz. *Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells*
ISBN 978-3-8325-3284-0 39.00 EUR
- 140 Sarah Hundertmark: Einblicke in kollaborative Lernprozesse. *Eine Fallstudie zur reflektierenden Zusammenarbeit unterstützt durch die Methoden Concept Mapping und Lernbegleitbogen*
ISBN 978-3-8325-3251-2 43.00 EUR

- 141 Ronny Scherer: Analyse der Struktur, Messinvarianz und Ausprägung komplexer Problemlösekompetenz im Fach Chemie. *Eine Querschnittstudie in der Sekundarstufe I und am Übergang zur Sekundarstufe II*
ISBN 978-3-8325-3312-0 43.00 EUR
- 142 Patricia Heitmann: Bewertungskompetenz im Rahmen naturwissenschaftlicher Problemlöseprozesse. *Modellierung und Diagnose der Kompetenzen Bewertung und analytisches Problemlösen für das Fach Chemie*
ISBN 978-3-8325-3314-4 37.00 EUR
- 143 Jan Fleischhauer: Wissenschaftliches Argumentieren und Entwicklung von Konzepten beim Lernen von Physik
ISBN 978-3-8325-3325-0 35.00 EUR
- 144 Nermin Özcan: Zum Einfluss der Fachsprache auf die Leistung im Fach Chemie. *Eine Förderstudie zur Fachsprache im Chemieunterricht*
ISBN 978-3-8325-3328-1 36.50 EUR
- 145 Helena van Vorst: Kontextmerkmale und ihr Einfluss auf das Schülerinteresse im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-3321-2 38.50 EUR
- 146 Janine Cappell: Fachspezifische Diagnosekompetenz angehender Physiklehrkräfte in der ersten Ausbildungsphase
ISBN 978-3-8325-3356-4 38.50 EUR
- 147 Susanne Bley: Förderung von Transferprozessen im Chemieunterricht
ISBN 978-3-8325-3407-3 40.50 EUR
- 148 Cathrin Blaes: Die übungsgestützte Lehrerpräsentation im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Evaluation der Effektivität*
ISBN 978-3-8325-3409-7 43.50 EUR
- 149 Julia Suckut: Die Wirksamkeit von piko-OWL als Lehrerfortbildung. Eine Evaluation zum Projekt *Physik im Kontext* in Fallstudien
ISBN 978-3-8325-3440-0 45.00 EUR
- 150 Alexandra Dorschu: Die Wirkung von Kontexten in Physikkompetenztestaufgaben
ISBN 978-3-8325-3446-2 37.00 EUR
- 151 Jochen Scheid: Multiple Repräsentationen, Verständnis physikalischer Experimente und kognitive Aktivierung: *Ein Beitrag zur Entwicklung der Aufgabenkultur*
ISBN 978-3-8325-3449-3 49.00 EUR
- 152 Tim Plasa: Die Wahrnehmung von Schülerlaboren und Schülerforschungszentren
ISBN 978-3-8325-3483-7 35.50 EUR
- 153 Felix Schoppmeier: Physikkompetenz in der gymnasialen Oberstufe. *Entwicklung und Validierung eines Kompetenzstrukturmodells für den Kompetenzbereich Umgang mit Fachwissen*
ISBN 978-3-8325-3502-5 36.00 EUR

- 154 Katharina Groß: Experimente alternativ dokumentieren. *Eine qualitative Studie zur Förderung der Diagnose- und Differenzierungskompetenz in der Chemielehrerbildung*
ISBN 978-3-8325-3508-7 43.50 EUR
- 155 Barbara Hank: Konzeptwandelprozesse im Anfangsunterricht Chemie. *Eine quasiexperimentelle Längsschnittstudie*
ISBN 978-3-8325-3519-3 38.50 EUR
- 156 Katja Freyer: Zum Einfluss von Studieneingangsvoraussetzungen auf den Studienerfolg Erstsemesterstudierender im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-3544-5 38.00 EUR
- 157 Alexander Rachel: Auswirkungen instruktorischer 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: Lesegeschichten im Chemieunterricht der Sekundarstufe I zur Unterstützung von situationalem Interesse und Lernerfolg
ISBN 978-3-8325-4487-4 41.00 EUR
- 227 Lena Mareike Walper: Entwicklung der physikbezogenen Interessen und selbstbezogenen Kognitionen von Schülerinnen und Schülern in der Übergangsphase von der Primar- in die Sekundarstufe. *Eine Längsschnittanalyse vom vierten bis zum siebten Schuljahr*
ISBN 978-3-8325-4495-9 43.00 EUR
- 228 Stefan Anthofer: Förderung des fachspezifischen Professionswissens von Chemielehramtsstudierenden
ISBN 978-3-8325-4498-0 39.50 EUR
- 229 Marcel Bullinger: Handlungsorientiertes Physiklernen mit instruierten Selbsterklärungen in der Primarstufe. *Eine experimentelle Laborstudie*
ISBN 978-3-8325-4504-8 44.00 EUR
- 230 Thomas Amenda: Bedeutung fachlicher Elementarisierungen für das Verständnis der Kinematik
ISBN 978-3-8325-4531-4 43.50 EUR

- 231 Sabrina Milke: Beeinflusst *Priming* das Physiklernen?
Eine empirische Studie zum Dritten Newtonschen Axiom
ISBN 978-3-8325-4549-4 42.00 EUR
- 232 Corinna Erfmann: Ein anschaulicher Weg zum Verständnis der elektromagnetischen Induktion. *Evaluation eines Unterrichtsvorschlags und Validierung eines Leistungsdiagnoseinstruments*
ISBN 978-3-8325-4550-5 49.50 EUR
- 233 Hanne Rautenstrauch: Erhebung des (Fach-)Sprachstandes bei Lehramtsstudierenden im Kontext des Faches Chemie
ISBN 978-3-8325-4556-7 40.50 EUR
- 234 Tobias Klug: Wirkung kontextorientierter physikalischer Praktikumsversuche auf Lernprozesse von Studierenden der Medizin
ISBN 978-3-8325-4558-1 37.00 EUR
- 235 Mareike Bohrmann: Zur Förderung des Verständnisses der Variablenkontrolle im naturwissenschaftlichen Sachunterricht
ISBN 978-3-8325-4559-8 52.00 EUR
- 236 Anja Schödl: FALKO-Physik – Fachspezifische Lehrerkompetenzen im Fach Physik. *Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zur Erfassung des fachspezifischen Professionswissens von Physiklehrkräften*
ISBN 978-3-8325-4553-6 40.50 EUR
- 237 Hilda Scheuermann: Entwicklung und Evaluation von Unterstützungsmaßnahmen zur Förderung der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten
ISBN 978-3-8325-4568-0 39.00 EUR
- 238 Christian G. Strippel: Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung an chemischen Inhalten vermitteln. *Konzeption und empirische Untersuchung einer Ausstellung mit Experimentierstation*
ISBN 978-3-8325-4577-2 41.50 EUR
- 239 Sarah Rau: Durchführung von Sachunterricht im Vorbereitungsdienst. *Eine längsschnittliche, videobasierte Unterrichtsanalyse*
ISBN 978-3-8325-4579-6 46.00 EUR
- 240 Thomas Plotz: Lernprozesse zu nicht-sichtbarer Strahlung. *Empirische Untersuchungen in der Sekundarstufe 2*
ISBN 978-3-8325-4624-3 39.50 EUR
- 241 Wolfgang Aschauer: Elektrische und magnetische Felder. *Eine empirische Studie zu Lernprozessen in der Sekundarstufe II*
ISBN 978-3-8325-4625-0 50.00 EUR
- 242 Anna Donhauser: Didaktisch rekonstruierte Materialwissenschaft. *Aufbau und Konzeption eines Schülerlabors für den Exzellenzcluster Engineering of Advanced Materials*
ISBN 978-3-8325-4636-6 39.00 EUR

- 243 Katrin Schüßler: Lernen mit Lösungsbeispielen im Chemieunterricht. *Einflüsse auf Lernerfolg, kognitive Belastung und Motivation*
ISBN 978-3-8325-4640-3 42.50 EUR
- 244 Timo Fleischer: Untersuchung der chemischen Fachsprache unter besonderer Berücksichtigung chemischer Repräsentationen
ISBN 978-3-8325-4642-7 46.50 EUR
- 245 Rosina Steininger: Concept Cartoons als Stimuli für Kleingruppendiskussionen im Chemieunterricht. *Beschreibung und Analyse einer komplexen Lerngelegenheit*
ISBN 978-3-8325-4647-2 39.00 EUR
- 246 Daniel Rehfeldt: Erfassung der Lehrqualität naturwissenschaftlicher Experimentalpraktika
ISBN 978-3-8325-4590-1 40.00 EUR
- 247 Sandra Puddu: Implementing Inquiry-based Learning in a Diverse Classroom: Investigating Strategies of Scaffolding and Students' Views of Scientific Inquiry
ISBN 978-3-8325-4591-8 35.50 EUR
- 248 Markus Bliersbach: Kreativität in der Chemie. *Erhebung und Förderung der Vorstellungen von Chemielehramtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-4593-2 44.00 EUR
- 249 Lennart Kimpel: Aufgaben in der Allgemeinen Chemie. *Zum Zusammenspiel von chemischem Verständnis und Rechenfähigkeit*
ISBN 978-3-8325-4618-2 36.00 EUR
- 250 Louise Bindel: Effects of integrated learning: explicating a mathematical concept in inquiry-based science camps
ISBN 978-3-8325-4655-7 37.50 EUR
- 251 Michael Wenzel: Computereinsatz in Schule und Schülerlabor. *Einstellung von Physik Lehrkräften zu Neuen Medien*
ISBN 978-3-8325-4659-5 38.50 EUR
- 252 Laura Muth: Einfluss der Auswertephase von Experimenten im Physikunterricht. *Ergebnisse einer Interventionsstudie zum Zuwachs von Fachwissen und experimenteller Kompetenz von Schülerinnen und Schülern*
ISBN 978-3-8325-4675-5 36.50 EUR
- 253 Annika Fricke: Interaktive Skripte im Physikalischen Praktikum. *Entwicklung und Evaluation von Hypermedien für die Nebenfachausbildung*
ISBN 978-3-8325-4676-2 41.00 EUR
- 254 Julia Haase: Selbstbestimmtes Lernen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. *Eine empirische Interventionsstudie mit Fokus auf Feedback und Kompetenzerleben*
ISBN 978-3-8325-4685-4 38.50 EUR
- 255 Antje J. Heine: Was ist Theoretische Physik? *Eine wissenschaftstheoretische Betrachtung und Rekonstruktion von Vorstellungen von Studierenden und Dozenten über das Wesen der Theoretischen Physik*
ISBN 978-3-8325-4691-5 46.50 EUR

- 256 Claudia Meinhardt: Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zu Selbstwirksamkeitserwartungen von (angehenden) Physiklehrkräften in physikdidaktischen Handlungsfeldern
ISBN 978-3-8325-4712-7 47.00 EUR
- 257 Ann-Kathrin Schlüter: Professionalisierung angehender Chemielehrkräfte für einen Gemeinsamen Unterricht
ISBN 978-3-8325-4713-4 53.50 EUR
- 258 Stefan Richtberg: Elektronenbahnen in Feldern. Konzeption und Evaluation einer webbasierten Lernumgebung
ISBN 978-3-8325-4723-3 49.00 EUR
- 259 Jan-Philipp Burde: Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells
ISBN 978-3-8325-4726-4 57.50 EUR
- 260 Frank Finkenberg: Flipped Classroom im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-4737-4 42.50 EUR
- 261 Florian Treisch: Die Entwicklung der Professionellen Unterrichtswahrnehmung im Lehr-Lern-Labor Seminar
ISBN 978-3-8325-4741-4 41.50 EUR
- 262 Desiree Mayr: Strukturiertheit des experimentellen naturwissenschaftlichen Problemlöseprozesses
ISBN 978-3-8325-4757-8 37.00 EUR
- 263 Katrin Weber: Entwicklung und Validierung einer Learning Progression für das Konzept der chemischen Reaktion in der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-4762-2 48.50 EUR
- 264 Hauke Bartels: Entwicklung und Bewertung eines performanznahen 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 Aufgabekultur
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 Averbek: 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
- 325 Kübra Nur Celik: Entwicklung von chemischem Fachwissen in der Sekundarstufe I. *Validierung einer Learning Progression für die Basiskonzepte „Struktur der Materie“, „Chemische Reaktion“ und „Energie“ im Kompetenzbereich „Umgang mit Fachwissen“*
ISBN 978-3-8325-5431-6 55.00 EUR
- 326 Matthias Ungermann: Förderung des Verständnisses von Nature of Science und der experimentellen Kompetenz im Schüler*innen-Labor Physik in Abgrenzung zum Regelunterricht
ISBN 978-3-8325-5442-2 55.50 EUR
- 327 Christoph Hoyer: Multimedial unterstütztes Experimentieren im webbasierten Labor zur Messung, Visualisierung und Analyse des Feldes eines Permanentmagneten
ISBN 978-3-8325-5453-8 45.00 EUR
- 328 Tobias Schüttler: Schülerlabore als interessefördernde authentische Lernorte für den naturwissenschaftlichen Unterricht nutzen
ISBN 978-3-8325-5454-5 50.50 EUR
- 329 Christopher Kurth: Die Kompetenz von Studierenden, Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren zu diagnostizieren
ISBN 978-3-8325-5457-6 58.50 EUR
- 330 Dagmar Michna: Inklusiver Anfangsunterricht Chemie *Entwicklung und Evaluation einer Unterrichtseinheit zur Einführung der chemischen Reaktion*
ISBN 978-3-8325-5463-7 49.50 EUR
- 331 Marco Seiter: Die Bedeutung der Elementarisierung für den Erfolg von Mechanikunterricht in der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-5471-2 66.00 EUR

- 332 Jörn Hägele: Kompetenzaufbau zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten. *Videobasierte Analysen zu Aktivitäten und Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern der gymnasialen Oberstufe bei der Bearbeitung von fachmethodischer Instruktion*
ISBN 978-3-8325-5476-7 56.50 EUR
- 333 Erik Heine: Wissenschaftliche Kontroversen im Physikunterricht. *Explorationsstudie zum Umgang von Physiklehrkräften und Physiklehramtsstudierenden mit einer wissenschaftlichen Kontroverse am Beispiel der Masse in der Speziellen Relativitätstheorie*
ISBN 978-3-8325-5478-1 48.50 EUR
- 334 Simon Goertz: Module und Lernzirkel der Plattform FLeXKom zur Förderung experimenteller Kompetenzen in der Schulpraxis *Verlauf und Ergebnisse einer Design-Based Research Studie*
ISBN 978-3-8325-5494-1 66.50 EUR
- 335 Christina Toschka: Lernen mit Modellexperimenten *Empirische Untersuchung der Wahrnehmung und des Denkens in Analogien beim Umgang mit Modellexperimenten*
ISBN 978-3-8325-5495-8 50.00 EUR
- 336 Alina Behrendt: Chemiebezogene Kompetenzen in der Übergangsphase zwischen dem Sachunterricht der Primarstufe und dem Chemieunterricht der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-5498-9 40.50 EUR
- 337 Manuel Daiber: Entwicklung eines Lehrkonzepts für eine elementare Quantenmechanik *Formuliert mit In-Out Symbolen*
ISBN 978-3-8325-5507-8 48.50 EUR
- 338 Felix Pawlak: Das Gemeinsame Experimentieren (an-)leiten *Eine qualitative Studie zum chemiespezifischen Classroom-Management*
ISBN 978-3-8325-5508-5 46.50 EUR
- 339 Liza Dopatka: Konzeption und Evaluation eines kontextstrukturierten Unterrichtskonzeptes für den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht
ISBN 978-3-8325-5514-6 69.50 EUR
- 340 Arne Bewersdorff: Untersuchung der Effektivität zweier Fortbildungsformate zum Experimentieren mit dem Fokus auf das Unterrichtshandeln
ISBN 978-3-8325-5522-1 39.00 EUR
- 341 Thomas Christoph Münster: Wie diagnostizieren Studierende des Lehramtes physikbezogene Lernprozesse von Schüler*innen? Eine Videostudie zur Mechanik
ISBN 978-3-8325-5534-4 44.50 EUR
- 342 Ines Komor: Förderung des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses in der Physikalischen Chemie
ISBN 978-3-8325-5546-7 46.50 EUR
- 343 Verena Petermann: Überzeugungen von Lehrkräften zum Lehren und Lernen von Fachinhalten und Fachmethoden und deren Beziehung zu unterrichtsnahem Handeln
ISBN 978-3-8325-5545-0 47.00 EUR

- 344 Jana Heinze: Einfluss der sprachlichen Konzeption auf die Einschätzung der Qualität instruktionaler Unterrichtserklärungen im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-5545-0 47.00 EUR
- 345 Jannis Weber: Mathematische Modellbildung und Videoanalyse zum Lernen der Newtonschen Dynamik im Vergleich
ISBN 978-3-8325-5566-5 68.00 EUR
- 346 Fabian Sterzing: Zur Lernwirksamkeit von Erklärvideos in der Physik *Eine Untersuchung in Abhängigkeit von ihrer fachdidaktischen Qualität und ihrem Einbettungsformat*
ISBN 978-3-8325-5576-4 52.00 EUR
- 347 Lars Greitemann: Wirkung des Tablet-Einsatzes im Chemieunterricht der Sekundarstufe I unter besonderer Berücksichtigung von Wissensvermittlung und Wissenssicherung
ISBN 978-3-8325-5580-1 50.00 EUR
- 348 Fabian Poensgen: Diagnose experimenteller Kompetenzen in der laborpraktischen Chemielehrer*innenbildung
ISBN 978-3-8325-5587-0 48.00 EUR
- 349 William Lindlahr: Virtual-Reality-Experimente *Entwicklung und Evaluation eines Konzepts für den forschend-entwickelnden Physikunterricht mit digitalen Medien*
ISBN 978-3-8325-5595-5 49.00 EUR
- 350 Bert Schlüter: Teilnahmemotivation und situationales Interesse von Kindern und Eltern im experimentellen Lernsetting KEMIE
ISBN 978-3-8325-5598-6 43.00 EUR
- 351 Katharina Nave: Charakterisierung situativer mentaler Modellkomponenten in der Chemie und die Bildung von Hypothesen *Eine qualitative Studie zur Operationalisierung mentaler Modell-komponenten für den Fachbereich Chemie*
ISBN 978-3-8325-5599-3 43.00 EUR
- 352 Anna B. Bauer: Experimentelle Kompetenz Physikstudierender *Entwicklung und erste Erprobung eines performanzorientierten Kompetenzstrukturmodells unter Nutzung qualitativer Methoden*
ISBN 978-3-8325-5625-9 47.00 EUR
- 353 Jan Schröder: Entwicklung eines Performanztests zur Messung der Fähigkeit zur Unterrichtsplanung bei Lehramtsstudierenden im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-5655-9 46.50 EUR
- 354 Susanne Gerlach: Aspekte einer Fachdidaktik Körperpflege *Ein Beitrag zur Standardentwicklung*
ISBN 978-3-8325-5659-4 45.00 EUR
- 355 Livia Murer: Diagnose experimenteller Kompetenzen beim praktisch-naturwissenschaftlichen Arbeiten *Vergleich verschiedener Methoden und kognitive Validierung eines Testverfahrens*
ISBN 978-3-8325-5657-0 41.50 EUR

- 356 Andrea Maria Schmid: Authentische Kontexte für MINT-Lernumgebungen *Eine zweiteilige Interventionsstudie in den Fachdidaktiken Physik und Technik*
ISBN 978-3-8325-5605-1 57.00 EUR
- 357 Julia Ortmann: Bedeutung und Förderung von Kompetenzen zum naturwissenschaftlichen Denken und Arbeiten in universitären Praktika
ISBN 978-3-8325-5670-9 37.00 EUR
- 358 Axel-Thilo Prokop: Entwicklung eines Lehr-Lern-Labors zum Thema Radioaktivität *Eine didaktische Rekonstruktion*
ISBN 978-3-8325-5671-6 49.50 EUR
- 359 Timo Hackemann: Textverständlichkeit sprachlich variiertes physikbezogener Sachtexte
ISBN 978-3-8325-5675-4 41.50 EUR
- 360 Dennis Dietz: Vernetztes Lernen im fächerdifferenzierten und integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht aufgezeigt am Basiskonzept Energie *Eine Studie zur Analyse der Wirksamkeit der Konzeption und Implementation eines schulinternen Curriculums für das Unterrichtsfach „Integrierte Naturwissenschaften 7/8“*
ISBN 978-3-8325-5676-1 49.50 EUR
- 361 Ann-Katrin Krebs: Vielfalt im Physikunterricht *Zur Wirkung von Lehrkräftefortbildungen unter Diversitätsaspekten*
ISBN 978-3-8325-5672-3 65.50 EUR
- 362 Simon Kaulhausen: Strukturelle Ursachen für Klausurmisserfolg in Allgemeiner Chemie an der Universität
ISBN 978-3-8325-5699-0 37.50 EUR
- 363 Julia Eckoldt: Den (Sach-)Unterricht öffnen *Selbstkompetenzen und motivationale Orientierungen von Lehrkräften bei der Implementation einer Innovation untersucht am Beispiel des Freien Explorierens und Experimentierens*
ISBN 978-3-8325-5663-1 48.50 EUR
- 364 Albert Teichrew: Physikalische Modellbildung mit dynamischen Modellen
ISBN 978-3-8325-5710-2 58.50 EUR
- 365 Sascha Neff: Transfer digitaler Innovationen in die Schulpraxis *Eine explorative Untersuchung zur Förderung der Implementation*
ISBN 978-3-8325-5687-7 59.00 EUR
- 366 Rahel Schmid: Verständnis von Nature of Science-Aspekten und Umgang mit Fehlern von Schüler*innen der Sekundarstufe I *Am Beispiel von digital-basierten Lernprozessen im informellen Lernsetting Smartfeld*
ISBN 978-3-8325-5722-5 53.50 EUR
- 367 Dennis Kirstein: Individuelle Bedingungs- und Risikofaktoren für erfolgreiche Lernprozesse mit kooperativen Experimentieraufgaben im Chemieunterricht *Eine Untersuchung zum Zusammenhang von Lernvoraussetzungen, Lerntätigkeiten, Schwierigkeiten und Lernerfolg beim Experimentieren in Kleingruppen der Sekundarstufe I*
ISBN 978-3-8325-5729-4 52.50 EUR

- 368 Frauke Düwel: Argumentationslinien in Lehr-Lernkontexten *Potenziale englischer Fachtexte zur Chromatografie und deren hochschuldidaktische Einbindung*
ISBN 978-3-8325-5731-7 62.50 EUR
- 369 Fabien Güth: Interessenbasierte Differenzierung mithilfe systematisch variiertes Kontextaufgaben im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-5737-9 48.00 EUR
- 370 Oliver Grewe: Förderung der professionellen Unterrichtswahrnehmung und Selbstwirksamkeitsüberzeugungen hinsichtlich sprachsensibler Maßnahmen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht *Konzeption und Evaluation einer video- und praxisbasierten Lehrveranstaltung im Masterstudium*
ISBN 978-3-8325-5738-6 44.50 EUR
- 371 Anna Nowak: Untersuchung der Qualität von Selbstreflexionstexten zum Physikunterricht *Entwicklung des Reflexionsmodells REIZ*
ISBN 978-3-8325-5739-3 59.00 EUR
- 372 Dominique Angela Holland: Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) kooperativ gestalten *Vergleich monodisziplinärer und interdisziplinärer Kooperation von Lehramtsstudierenden bei der Planung, Durchführung und Reflexion von Online-BNE-Unterricht*
ISBN 978-3-8325-5760-7 47.00 EUR
- 373 Renan Marcello Vairo Nunes: MINT-Personal an Schulen *Eine Untersuchung der Arbeitssituation und professionellen Kompetenzen von MINT-Lehrkräften verschiedener Ausbildungswege*
ISBN 978-3-8325-5778-2 51.00 EUR

Alle erschienenen Bücher können unter der angegebenen ISBN direkt online (<http://www.logos-verlag.de>) oder telefonisch (030 - 42 85 10 90) beim Logos Verlag Berlin bestellt werden.

Chemieunterricht findet in heterogenen Lerngruppen mit Schüler:innen unterschiedlichster Lernausgangslagen statt. Mit Blick auf die besondere Bedeutung des Experimentierens im Fach Chemie ist eine individualisierte Lernprozessgestaltung daher besonders in Experimentierphasen notwendig. Dazu müssen Lehrkräfte wissen, was Lernenden Schwierigkeiten bereitet und wie sie entsprechend ihrer individuellen Lernvoraussetzungen gefördert werden müssen.

Vor diesem Hintergrund wurden in einem Mixed-Methods-Ansatz die Zusammenhänge zwischen verschiedenen individuellen Lernvoraussetzungen, Lernaktivitäten, beobachtbaren Schwierigkeiten und dem Lernerfolg beim Bearbeiten kooperativer Experimentieraufgaben zu unterschiedlichen Inhalten untersucht. An der Untersuchung nahmen $N = 101$ Schülerinnen und Schüler der 9. Jahrgangsstufe verschiedener Schulformen aus der Metropolregion Rhein-Ruhr teil.

Die Analysen zeigen, dass während des Experimentierens unterschiedliche Schwierigkeiten auftreten. Jedoch wirken sich nur einzelne davon, wie etwa ein fehlendes Verständnis der Zielsetzung der Aufgabenstellung, unmittelbar negativ auf den individuellen Lernerfolg aus. Für das Auftreten von Schwierigkeiten ist zum Teil ein geringes Vorwissen zu naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen ursächlich. Es zeigt sich aber auch, dass viele Schwierigkeiten in bestimmten Leistungsbereichen unterschiedlich häufig auftreten, wodurch sich hier ein Zugang für individualisierte Experimentiersituationen ergibt.

Logos Verlag Berlin

ISBN 978-3-8325-5729-4