

Studien zum Physik- und Chemielernen

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

314

Judith Breuer

Implementierung fachdidaktischer Innovationen durch das Angebot materialgestützter Unterrichtskonzeptionen

Fallanalysen zum Nutzungsverhalten von
Lehrkräften am Beispiel des Münchener
Lehrgangs zur Quantenmechanik

λογος

Studien zum Physik- und Chemielernen

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

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

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

Martin Hopf, Hans Niedderer, Mathias Ropohl und Elke Sumfleth

Studien zum Physik- und Chemielernen

Band 314

Judith Breuer

**Implementierung fachdidaktischer Innovationen
durch das Angebot materialgestützter
Unterrichtskonzeptionen**

Fallanalysen zum Nutzungsverhalten von Lehrkräften am Beispiel
des Münchener Lehrgangs zur Quantenmechanik

Logos Verlag Berlin



Studien zum Physik- und Chemielernen

Martin Hopf, Hans Niederer, Mathias Ropohl und Elke Sumfleth [Hrsg.]

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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



© Copyright Logos Verlag Berlin GmbH 2021

Alle Rechte vorbehalten.

ISBN 978-3-8325-5293-0

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>

**Implementierung fachdidaktischer
Innovationen durch das Angebot
materialgestützter Unterrichtskonzeptionen**

**Fallanalysen zum Nutzungsverhalten von Lehrkräften
am Beispiel des Münchener Lehrgangs zur
Quantenmechanik**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der
Naturwissenschaftlichen Fakultät an der Universität Paderborn

Vorgelegt von

Judith Breuer
März 2021

Gutachter dieser Arbeit:

Prof. Dr. Peter Reinhold
Universität Paderborn, Fakultät für Naturwissenschaften

Prof. Dr. Dietmar Höttecke
Universität Hamburg, Fakultät für Erziehungswissenschaften

Danksagung

Ich möchte mich ganz herzlich bei allen Beteiligten bedanken, die mich während meiner Promotionszeit unterstützt und begleitet haben. Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr. Peter Reinhold, der mit seiner fachlichen Expertise, seinem Überblick, seinem Engagement und seiner Besonnenheit eine wichtige Anlaufstelle für mich war und immer noch ist. Mein Dank geht auch an Dr. Christoph Vogelsang, der mein Projekt betreut hat und nie müde wurde, mir meine vielen Fragen zu beantworten. Vielen Dank schulde ich auch Prof. Dr. Christoph Kulgemeyer, der in meinem letzten halben Jahr die Paderborner AG Didaktik der Physik übernommen hat und mir viele Freiräume ließ, damit ich mich auf die Fertigstellung meiner Dissertation konzentrieren konnte. Darüber hinaus danke ich meiner gesamten Arbeitsgruppe für viele spannende und gehaltvolle Diskussionsrunden.

Des Weiteren möchte ich mich bei meiner Mentorin Prof. Dr. Heike Theyßen bedanken, die bis heute eine wichtige Ansprechpartnerin für mich ist und deren Rat ich sehr schätze. In diesem Zusammenhang möchte ich auch Dr. Julia Steinhausen nennen, die ein Mentoringprogramm für Doktorandinnen an der Universität Paderborn leitet und damit einen wertvollen Beitrag während meiner Promotion geleistet hat.

Eine weitere wichtige Station war für mich die ESERA Summer School 2019 auf Kreta, die eine einzigartige Atmosphäre mit intensivem und produktivem Arbeiten verknüpft hat, was ich sehr genossen habe. Daher an dieser Stelle ein herzliches Dankeschön an alle Organisator*innen, Berater*innen und Beteiligten! Darüber hinaus möchte ich der AG von Prof. Dr. Claudia von Aufschnaiter danken, die entscheidende Impulse für die Validierung meines Auswerteverfahrens geliefert hat. Weiterhin gilt mein Dank meinem Kollegen Wilfried Bröckling, der mich bei der Rekrutierung von Probanden und der Datenerhebung unterstützt hat.

Ich möchte darüber hinaus meinen Eltern für ihre Unterstützung und ihr offenes Ohr danken. Mein Vater hat zudem durch sein sorgfältiges Korrekturlesen einen wichtigen Beitrag für dieses Buch geleistet. Auch möchte ich mich bei meinen drei Geschwistern bedanken, die mich immer darin unterstützt haben, meinen eigenen Weg zu gehen. Hilfreich waren für mich weiterhin die vielen Gespräche mit meinen Freundinnen Vanessa, Heike, Julia, Nora und Laura, die oft in interessanten Diskussionen im weiteren Kontext meines Forschungsthemas gemündet sind.

Abschließend möchte ich mich ganz herzlich bei allen Lehrkräften, die an meiner Studie teilgenommen haben, für ihre Mühen und für ihre Offenheit bedanken, was dieses Forschungsvorhaben so überhaupt erst möglich gemacht hat.

Kurzfassung

Ein zentrales Ziel der fachdidaktischen Forschung stellt die Verbesserung schulischen Unterrichts dar. Eine Transferstrategie zur flächendeckenden Verbreitung wissenschaftlicher Erkenntnisse bildet die Bereitstellung evidenzbasierter, innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen. Allerdings fällt das Materialnutzungsverhalten von Lehrkräften individuell sehr unterschiedlich aus, wobei das Zusammenspiel verschiedener Einflussfaktoren auf die Materialnutzung bislang wenig erforscht ist. Überdies etablieren sich zahlreiche, auch empirisch erfolgreich evaluierte Unterrichtskonzeptionen nicht nachhaltig an Schulen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, dieses Wirkgefüge unter authentischen Bedingungen genauer zu untersuchen. Dazu wurde kriteriengeleitet eine evidenzbasierte, fachdidaktisch innovative Unterrichtskonzeption ausgewählt: das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik (Müller, 2003). Diese wurde den teilnehmenden Lehrkräften fakultativ zur Verfügung gestellt. Einem qualitativen Forschungsansatz folgend wurden elf Lehrkräfte bei der Implementierung des Konzepts durch ein Interview zu Beginn und am Ende der Unterrichtsreihe sowie zwei Unterrichtsbeobachtungen mit je einem anschließenden *stimulated recall* begleitet. Die Daten wurden mittels qualitativer Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018) ausgewertet.

Aus den Ergebnissen folgt, dass die Probanden sich überwiegend heuristisch mit der bereitgestellten Konzeption auseinandersetzten und lediglich Elemente auf Sichtstrukturebene implementierten. Trotz individueller Präferenzen bei der Nutzung der Konzeption konnten theoriegeleitet zwei interindividuelle Nutzungsmuster festgestellt werden, die sich insbesondere im Bedarf nach neuen Materialien sowie im Grad der Umsetzung der bereitgestellten Konzeption unterscheiden (vgl. Gregoire, 2003). Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Materialnutzung durch Lehrkräfte eine doppelte Angebots-Nutzungsstruktur auf der Ebene der Bereitstellung einer Unterrichtskonzeption und auf der Ebene der Implementierung im Unterricht zu bilden scheint. Gelingens- und Hinderungsfaktoren der Implementierung unterliegen dabei teilweise konstitutiven Antinomien, die per se nicht aufhebbar sind. Folglich bedarf es für die Gestaltung empirisch fundierter, fachdidaktisch innovativer Unterrichtskonzeptionen eines reflektierten Aushandlungsprozesses mit den identifizierten Spannungsfeldern für einen gelingenden Transfer im Sinne einer tiefgreifenden Implementierung im Unterricht.

Abstract

In the long run, science education research strives to improve instructional quality. One potential strategy to provide evidence-based innovations on a large scale are educative curriculum materials (ECM). However, there is evidence that teachers' use of ECM is a very individual process, and, up to now, little is known about the interplay of different impact factors within the implementation process. Furthermore, many ECM that are found to be effective in science education studies fail to make it into school practice.

Thus, the objective of my study is a better understanding of teachers' interaction with ECM in an authentic setting. For this purpose, I have selected an already existing curriculum program: a teaching unit in quantum physics (Müller, 2003). The participants received the ECM as a suggestion for teaching being free to use whatever seemed to be appropriate to them. Following a qualitative approach, I have attended eleven in-service teachers during their unit about quantum physics. I collected a semi-structured interview at the beginning and at the end of the teaching unit. Furthermore, I videotaped two lessons per teacher followed by a stimulated recall after each lesson. The data is analyzed by qualitative text analysis according to Kuckartz (2018).

The findings indicate that teachers process ECM in a heuristic, superficial way. They just adopt single elements of the ECM and not the underlying concept. Although the use of the ECM varies for different teachers, I found two interindividual patterns of teachers' use based on Gregoire (2003). The patterns differ in the perceived appraisal and the level of implementation of the ECM. To sum up, teachers' use of ECM can be modelled as double utilization-of-learning-opportunities. What of the ECM teachers offer their students is filtered by their perception of the ECM. More fundamental, the process of implementation of ECM seems to be determined by constitutive antinomies like the antinomy of heteronomy and autonomy. Thus, designing and implementing ECM effectively needs a reflective debate between designers and teachers about the identified antinomies to increase instructional quality.

Teile dieser Arbeit sind bereits erschienen in:

- Breuer, J., Vogelsang, C. & Reinhold, P. (2021). Transfer fachdidaktischer Innovation in die Schulpraxis. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?* (S. 242-245). Duisburg, Essen: GDCP.
- Breuer, J., Vogelsang, C. & Reinhold, P. (2020a). Implementation und Nutzung von Unterrichtsmaterialien im schulischen Unterricht. *PhyDid A*, 19 (1), 12-22.
- Breuer, J., Vogelsang, C. & Reinhold, P. (2020b). Der Einfluss von Lehrercharakteristika auf die Nutzung von Unterrichtsmaterialien. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen* (S. 463-466). Wien: Universität Wien.
- Breuer, J., Vogelsang, C. & Reinhold, P. (2019). Implementation fachdidaktischer Innovation im Physikunterricht: Ergebnisse einer Pilotstudie. In C. Maurer (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe* (S. 189-192). Kiel: Universität Kiel.
- Breuer, J., Vogelsang, C. & Reinhold, P. (2018a). Implementation fachdidaktischer Innovation am Beispiel des Münchener Unterrichtskonzepts zur Quantenmechanik. In V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Würzburg 2018* (S. 133-139).

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1. Theoretischer Teil	5
2. Verbesserung der Qualität schulischen Unterrichts durch fachdidaktische Innovationen	7
2.1. Unterrichtsqualität als Ziel fachdidaktischer Innovationen . . .	8
2.2. Handlungsressourcen von Lehrkräften als Bedingung des Transfers von Innovationen	13
2.2.1. Professionelle Kompetenz von Lehrkräften	13
2.2.2. Handlungsrelevanz von Wissen	15
2.2.3. Werthaltungen und Überzeugungen	20
2.2.4. Motivationale Orientierungen	23
2.2.5. Folgerungen für diese Arbeit	24
3. Transfer fachdidaktischer Innovation in die Schulpraxis	27
3.1. Lehrer*innenausbildung	28
3.2. Fortbildungen	29
3.3. Bereitstellung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen . .	32
3.3.1. Definition materialgestützter Unterrichtskonzeptionen	33
3.3.2. Unterrichtsplanung als materialgeleiteter Prozess . .	35
3.3.3. Wirksamkeit der Nutzung evidenzbasierter, materialgestützter Unterrichtskonzeptionen	37
3.3.3.1. Determinanten der Nutzung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen	40
3.3.3.2. Gegenstand und Präsentation der Innovation	47
3.3.3.3. Bedarf auf Seiten der Lehrkräfte	52
3.3.3.4. Motivation basierend auf den Überzeugungen und der Selbstwirksamkeit	56
3.3.3.5. Fähigkeiten und Möglichkeiten von Lehrkräften	61
3.3.3.6. Unterschiede in der Nutzung und Umsetzung	64
3.3.4. Zusammenfassung: Bereitstellung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen	67

3.3.5.	Diskussion: Nutzung und Implementierung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen	70
3.3.6.	Zwischenfazit	75
II.	Empirischer Teil	77
4.	Ziele und Forschungsfragen	79
5.	Forschungsdesign und Methode	81
5.1.	Forschungsdesign	81
5.2.	Auswahl der bereitgestellten materialgestützten Unterrichtskonzeption	88
5.2.1.	Auswahlkriterien	88
5.2.2.	Das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik	91
5.3.	Erhebungsinstrumente	106
5.3.1.	Interviews	106
5.3.1.1.	Einstiegsinterview	109
5.3.1.2.	Stimulated-Recall-Interviews	113
5.3.1.3.	Abschlussinterview	116
5.3.2.	Unterrichtsbeobachtungen	119
5.3.3.	Sammeln von Notizen der Lehrkräfte und von im Unterricht eingesetzten Materialien	121
5.4.	Zeitlicher Ablauf der Datenerhebung und Rahmenbedingungen	122
5.5.	Zusammenfassung: Forschungsdesign und Methode	126
6.	Stichprobe	129
7.	Datenauswertung	133
7.1.	Transkription der Interviews	135
7.2.	Auswertung der Interviews mittels qualitativer Inhaltsanalyse	135
7.2.1.	Vorstellung und Begründung des gewählten Auswerteverfahrens	136
7.2.2.	Vorstellung des Kategoriensystems	142
7.2.2.1.	Vorstellungen zum Lehren und Lernen	147
7.2.2.2.	Unterrichtsplanung	150
7.2.2.3.	Nutzung von Unterrichtsmaterialien	155
7.2.2.4.	Aussagen zum bereitgestellten Unterrichtskonzept MILQ	163
7.2.2.5.	Aussagen zur Quantenphysik	169
7.2.2.6.	Reflexion	174
7.2.3.	Codierung der Interviews	177

7.3. Gütekriterien	180
7.3.1. Gütekriterien in der qualitativen Forschung	180
7.3.1.1. Status quo der Debatte zu Gütekriterien der qualitativen Forschung	181
7.3.1.2. Diskussion der verschiedenen Ansätze	184
7.3.1.3. Folgerungen für die vorliegende Arbeit	189
7.3.2. Validitätsargumente für die Qualitätssicherung	191
7.4. Zusammenfassung: Datenauswertung	212
8. Vorstellung und Interpretation der Ergebnisse	215
8.1. Steckbriefe der teilnehmenden Lehrkräfte	216
8.2. Themenbasierte Ergebnisdarstellung	224
8.2.1. Externe Rahmenbedingungen der Materialnutzung	226
8.2.2. Personenbezogene Merkmale	233
8.2.2.1. Vorstellungen zum Lehren und Lernen	233
8.2.2.2. Vorgehen bei der Unterrichtsplanung	238
8.2.2.3. Reflexionsschwerpunkt	242
8.2.2.4. Selbstwirksamkeitserwartungen beim Unterrichten von Quantenphysik	247
8.2.2.5. Persönliches Interesse an Quantenphysik	248
8.2.2.6. Ziele der Quantenphysik im Physikunterricht	248
8.2.2.7. Behandlung quantenmechanischer Phänomene	253
8.2.2.8. Stellenwert der Mathematik im Quantenphysikunterricht	257
8.2.2.9. Schwierigkeiten beim Unterrichten von Quantenphysik	260
8.2.2.10. Vorstellungen zur Materialnutzung	269
8.2.3. Materialbezogene Merkmale	274
8.2.3.1. Inhaltliche Materialnutzungskriterien	274
8.2.3.2. Formale bzw. pragmatische Materialnutzungskriterien	282
8.2.3.3. Genutzte Materialien zur Unterrichtsvorbereitung oder im Unterricht	288
8.2.3.4. Gründe für das Selbststudium	297
8.2.4. Zusammenfassung: Bedingungsfaktoren der Nutzung von MILQ	301
8.2.5. Rezeption und Nutzung von MILQ	305
8.2.5.1. Bekanntheit	305
8.2.5.2. Zugriff auf MILQ	305
8.2.5.3. Geringe Qualität des Konzepts	306
8.2.5.4. Hohe Qualität des Konzepts	316
8.2.5.5. Nicht genutzte Elemente	324

8.2.5.6. Grad der Umsetzung von MILQ	327
8.2.5.7. Persönliches Fazit der teilnehmenden Lehrkräfte	337
8.2.6. Zusammenfassung der themenbasierten Ergebnisdarstellung	338
8.3. Fallbeschreibungen	342
8.3.1. Mario Peters	343
8.3.2. Miriam Kruse	346
8.3.3. Kai Schmidt	351
8.3.4. Lisa Lenz	355
8.3.5. Carolin Schneider	359
8.3.6. Marcel Leinert	363
8.3.7. Fabian Krüger	367
8.3.8. Christian Janssen	371
8.3.9. Alexander Lücking	375
8.3.10. Tobias Kampe	379
8.3.11. Simon Meyer	382
8.4. Zwischenfazit	385
8.5. Rekonstruktion von Handlungsmustern	390
8.5.1. Aufgeschlossene*r Pragmatiker*in	392
8.5.2. Innovationsinteressierte*r	394
8.5.3. Exemplarische Beschreibung des Rekonstruktionsprozesses	397
8.6. Zusammenfassung der Ergebnisse	402
9. Zusammenfassung der Arbeit	409
10. Fazit	413
10.1. Fehlende Ist-Soll-Abweichung	413
10.2. Konstitutive Antinomien der Materialnutzung durch Lehrkräfte	415
10.3. Stärkerer Einbezug der Perspektive von Lehrkräften	419
10.4. Implikationen	421
Verzeichnisse	427
Abbildungsverzeichnis	427
Tabellenverzeichnis	430
Literatur	431
Anhang	453

1. Einleitung

Ein zentrales Ziel der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung stellt die Verbesserung schulischen Unterrichts dar. In diesem Zusammenhang widmet sich die Forschung insbesondere der Entwicklung und Evaluierung fachdidaktischer Innovationen. Seit dem PISA-Schock (Baumert et al., 2001; OECD, 2001) und der Veröffentlichung der Metaanalyse von Einflussfaktoren auf die Leistung von Schüler*innen von Hattie (2009) wird zusätzlich eine vermehrte Evidenzbasierung für die Gestaltung von Unterricht gefordert (Schrader, Hasselhorn, Hetfleisch & Goeze, 2020; vgl. Wissenschaftsrat, 2016; BMBF, 2017). Allerdings sind Lehrkräfte wenig über aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse und innovative fachdidaktische Entwicklungen informiert (Köller, Möller & Möller, 2013; Duit, Schecker, Höttecke & Niedderer, 2014; Hetmanek et al., 2015; Bauer, Berthold, Hefter, Prenzel & Renkl, 2017; Rochnia & Trempler, 2019), weshalb der Transfer solcher Erkenntnisse in die Praxis vermehrt unterstützt werden sollte.

Der Transfer fachdidaktischer Innovationen in die Schulpraxis kann auf den drei Handlungsebenen *Makroebene* (Bildungssystem), *Mesoebene* (Schule) sowie *Mikroebene* (Unterricht einer Lehrkraft) vonstattengehen (Bromme, Prenzel & Jäger, 2014; Schrader et al., 2020). Für einen niederschweligen Transfer bietet sich die Mikroebene an, was typischerweise durch die Lehrer*innenausbildung, Fortbildungen oder das Selbststudium von Lehrkräften realisiert wird, jeweils unterstützt durch empirisch fundierte Lehrer*innenhandreichungen. Die Lehrer*innenausbildung bildet zwar die Basis für den Erwerb von professioneller Kompetenz, mutet jedoch für die Vermittlung innovativer empirischer Erkenntnisse als zu langwierig an, da so lediglich die künftigen Lehrkräfte erreicht werden. Die Teilnahme an Fortbildungen stellt indes eine gängige Transferstrategie fachdidaktischer Innovation dar, wirkt in der Regel jedoch nur sehr lokal bzw. kann lediglich unter großem Aufwand auf breiter Basis betrieben werden (Lipowsky, 2019). Die Strategie des Selbststudiums evidenzbasierter, fachdidaktisch innovativer Unterrichtskonzeptionen kann hingegen problemlos flächendeckend bspw. durch *open educational resources* vorgenommen werden und bietet zudem den Vorteil, dass die Nutzung von Lehr-Lernmitteln in der Unterrichtsvorbereitung bereits im Berufsalltag von Lehrkräften verankert ist (Ball & Cohen, 1996; Remillard, 2005; Davis, Janssen & van Driel, 2016; Breuer, Vogelsang & Reinhold, 2020a; Remillard & Kim, 2020a).

Tatsächlich konnte in zahlreichen Interventionsstudien festgestellt werden, dass die Bereitstellung fachdidaktisch innovativer Unterrichtskonzeptionen potentiell die Unterrichtsqualität bzw. den Lernzuwachs der Schüler*innen erhöhen kann (Hübinger, 2008; Möller, 2010; Tobias, 2010; Charalambous & Hill, 2012; McNeill, Pimentel & Strauss, 2013; Arias, Smith, Davis, Marino & Palinscar, 2017; Burde, 2018; Humphrey, Barlow & Lendrum, 2018; Larrain, Howe & Freire, 2018; Bayram-Jacobs et al., 2019; Roseman et al., 2019; Kartamiharja & Sopandi, 2020). Aus dem bisherigen Forschungsstand lässt sich jedoch auch folgern, dass das Nutzungsverhalten von Lehrkräften individuell sehr unterschiedlich ausfällt und teilweise nur wenig einer bereitgestellten Unterrichtskonzeption umgesetzt wird (Vollstädt, Tillmann, Rauin & Tebrügge, 1999; Collopy, 2003; Roehrig, Kruse & Kern, 2007; Vos, Taconis, Jochems & Pilot, 2011; Boesen et al., 2014; Bismack, Arias, Davis & Palinscar, 2015). Auch gibt es Berichte, dass (angehende) Lehrkräfte den weiterbildenden Charakter solcher Materialien nicht immer erkennen bzw. nutzen (Bromme, 1981; Tebrügge, 2001; Durlak & DuPre, 2008; Gassmann, 2013; Land, Tyminski & Drake, 2015; Kleickmann, Tröbst, Jonnen, Vehmeyer & Möller, 2016; Siedel & Stylianides, 2018). Überdies etablieren sich zahlreiche, auch empirisch erfolgreich evaluierte Unterrichtskonzeptionen nicht nachhaltig an Schulen (Altrichter & Wiesinger, 2004; Burkard, 2009; Wilhelm, Tobias, Waltner, Hopf & Wiesner, 2012; Wilhelm & Hopf, 2014).

Die inkonsistente Befundlage und die festgestellte Transferproblematik legen nahe, den Implementationsprozess genauer in den Blick zu nehmen. So liefern die Modellierungen der Implementationsforschung im Gesundheitswesen zwar Hinweise, aus denen Gelingens- und Hinderungsfaktoren der Implementierung von Innovationen des Bildungssystems abgeleitet werden können (Schrader et al., 2020). Auch beschreibt Gregoire (2003) auf der Grundlage der Forschung zum *conceptual change* von Lehrkräften Wirkmechanismen bei der Implementierung von Bildungsreformen. Es fehlt jedoch eine Modellierung, die konkret den Implementationsprozess innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen abbildet.

Auf der anderen Seite existieren bereits Modelle der Materialnutzung, die nicht explizit den Transfer evidenzbasierter Erkenntnisse zum Gegenstand haben. Bismack et al. (2015) modellieren die Auswirkungen von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen in Form eines *written curriculum* als einfache Wirkkette auf das *intended curriculum* und darüber auf das *enacted curriculum* und schließlich auf das *student learning*. Remillard (2005) leitet in einem Überblicksbeitrag diesbezüglich wechselseitige Beziehungen zwischen Personenmerkmalen der Lehrkraft, Materialmerkmalen sowie der Umsetzung im Unterricht ab (vgl. Davis, Janssen & van Driel, 2016). Dabei identifiziert Remillard (2005) für die Materialnutzung die gleichen Determi-

nanten wie die Implementationsforschung (Gregoire, 2003; Schrader et al., 2020).

Insofern bilden die Einflussfaktoren der Implementierung fachdidaktisch innovativer Unterrichtskonzeptionen vermutlich ein komplexes Wirkgefüge im Sinne einer doppelten Angebots-Nutzungsstruktur auf der Ebene der Bereitstellung und auf der Ebene der Implementierung im Unterricht (vgl. Kunter, Kleickmann, Klusmann & Richter, 2011; Schrader et al., 2020). Das Zusammenspiel verschiedener Bedingungsfaktoren während des Implementationsprozesses ist jedoch bislang noch wenig erforscht (vgl. Schrader et al., 2020).

Das Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens ist daher, Einflussfaktoren bei der Nutzung und Implementierung evidenzbasierter, fachdidaktisch innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen für das Fach Physik zu ermitteln und deren Wirkzusammenhänge genauer zu untersuchen, um den Implementationsprozess besser zu verstehen. Zu diesem Zweck wird aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit exemplarisch eine fachdidaktisch innovative Unterrichtskonzeption kriteriengeleitet ausgewählt und deren Implementationsprozess in einem alltagsnahen Setting anhand der folgenden Forschungsfrage analysiert:

Wie gehen Physiklehrkräfte mit einer empirisch fundierten, fachdidaktisch innovativen Unterrichtskonzeption um?

Die Arbeit gliedert sich in einen theoretischen und einen empirischen Teil. Im Theorieteil wird zunächst in Kapitel 2 beschrieben, inwiefern fachdidaktische Innovationen zur Verbesserung der Unterrichtsqualität beitragen können und welchen Einfluss Merkmale der Lehrkräfte darauf haben. In Kapitel 3 werden daran anschließend verschiedene Strategien für den Transfer fachdidaktischer Innovation in die Unterrichtspraxis vorgestellt. Der Fokus richtet sich dabei auf die in der vorliegenden Untersuchung verfolgte Transferstrategie des Selbststudiums von Lehrkräften über die Bereitstellung fachdidaktisch innovativer Unterrichtskonzeptionen. Auf Basis des derzeitigen Forschungsstandes werden Desiderate in Bezug auf die Implementierung fachdidaktisch innovativer Unterrichtskonzeptionen abgeleitet. Im empirischen Teil werden die abgeleiteten Forschungsdesiderate in Kapitel 4 erneut aufgegriffen und darauf aufbauend als Forschungsfragen des vorliegenden Forschungsvorhabens formuliert, welche Personenmerkmale, Materialmerkmale und externen Randbedingungen die Implementierung beeinflussen, wie die verschiedenen Einflussfaktoren miteinander wechselwirken sowie ob interindividuelle Handlungsmuster im Materialnutzungsverhalten festgestellt werden können. Anschließend wird in Kapitel 5 ein geeignetes Forschungsdesign zur Klärung der Forschungsfragen entwickelt und begründet. Die gewählten Erhebungsinstrumente werden im Anschluss genauer vorgestellt. Es folgt in Kapitel 6

eine Beschreibung der Auswahl und Zusammensetzung der Stichprobe. Kapitel 7 behandelt die Entwicklung und Begründung des Auswerteverfahrens sowie die Darstellung des Vorgehens bei der Datenauswertung. Im Anschluss werden in Kapitel 8 die Ergebnisse präsentiert. Kapitel 9 liefert einen abschließenden Überblick über die gesamte Arbeit und fasst die zentralen Erkenntnisse zusammen. Diese werden in Kapitel 10 diskutiert und darauf aufbauend Implikationen für zukünftige Forschungsarbeiten formuliert.

Teil I.
Theoretischer Teil

2. Verbesserung der Qualität schulischen Unterrichts durch fachdidaktische Innovationen

Eine zentrale Aufgabe der fachdidaktischen Forschung besteht in der Weiterentwicklung und Verbesserung schulischen Unterrichts, um die Lernprozesse der Schüler*innen zu optimieren. Nach Angebots-Nutzungs-Modellen (z.B. Helmke, 2009; Seidel, 2014) stellt das Angebot der Lehrperson einen zentralen Faktor dar, um den Lernzuwachs der Schüler*innen zu erhöhen (vgl. Darling-Hammond, 2006; Hattie, 2009) und kann zudem am direktesten beeinflusst werden.

Dazu bietet es sich an, eine vermehrt evidenzbasierte Praxis¹ von Lehrkräften zu unterstützen, wie es seit dem PISA-Schock (Baumert et al., 2001; OECD, 2001) und der Veröffentlichung der Metaanalyse von Einflussfaktoren der Leistung von Schüler*innen von Hattie (2009) vermehrt gefordert wird (Altrichter & Wiesinger, 2004; Schrader et al., 2020; vgl. Wissenschaftsrat, 2016; BMBF, 2017).² Auch die Kultusministerkonferenz (KMK) gibt als eine wichtige Aufgabe von Lehrkräften das Rezipieren, Bewerten und Umsetzen in der Schulpraxis von Ergebnissen der Bildungsforschung an (KMK, 2004b).

Der Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in Schule kann auf den drei Handlungsebenen *Makroebene* (Bildungssystem), *Mesoebene* (Schule) und *Mikroebene* (Unterricht einer Lehrkraft) vollzogen werden (Bromme, Pren-

¹Der Ansatz der evidenzbasierte Praxis stammt ursprünglich aus der Medizin und wurde auf die Bildungsforschung übertragen (vgl. Sackett, Rosenberg, Gray, Haynes & Richardson, 1996; Stark, 2017; Schrader et al., 2020). Eine kritische Auseinandersetzung mit der Verwendung des Begriffs *Evidenz* in der empirischen Bildungsforschung ist bei Bromme, Prenzel und Jäger (2014) sowie bei Stark (2017) nachzulesen.

²Teilweise ist die Motivation für eine vermehrte Forderung für den Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Praxis als Rechtfertigung der Wissenschaft zu lesen, dass in der Wissenschaft auch tatsächlich praxisrelevante Inhalte erforscht werden (und somit Fördergelder in sinnstiftende Projekte investiert werden) (vgl. z.B. Wissenschaftsrat, 2016; Schrader et al., 2020). Diese Argumentation wirkt allerdings verkürzt und überzeugt aus der Perspektive der Praxis nicht.

zel & Jäger, 2014; Schrader et al., 2020). In der vorliegenden Arbeit wird der letztere Weg fokussiert, da dieser die direkteste und niederschwelligste Möglichkeit für einen Transfer darstellt. Demnach kann eine evidenzbasierte Praxis von Lehrkräften über die Implementierung empirisch fundierter, fachdidaktischer Innovationen erreicht werden, die darauf abzielen, durch die Veränderung von sozialen Praktiken sowie vom fachdidaktischen Wissen und Überzeugungen, die diesen sozialen Praktiken unterlegt sind, nachhaltig die Unterrichtsqualität zu verbessern (Altrichter & Wiesinger, 2004).³ Die fachdidaktische Lehr-Lern-Forschung widmet sich daher vielfach der Entwicklung und Evaluierung von Interventionen zur Unterstützung des professionellen Handelns von Lehrkräften bzw. zur Verbesserung der Qualität schulischen Unterrichts.

2.1. Unterrichtsqualität als Ziel fachdidaktischer Innovationen

Um nachzuvollziehen, was eine fachdidaktische Innovation ausmacht, welche die Unterrichtsqualität verbessert, wird in diesem Unterkapitel vorgestellt, was unter einem qualitativ hochwertigen Unterricht verstanden wird.

„Guter“ Unterricht unterstützt den fachlichen und motivationalen Kompetenzerwerb der Lernenden (Steffensky & Neuhaus, 2018). Zudem kann ein qualitativ hochwertiger Unterricht kompensatorisch wirken und helfen, ungleiche Bildungschancen von Schüler*innen zu verringern (Lipowsky, 2006). Für eine Beschreibung guten Unterrichts müssen Zielkriterien gefunden werden, nach denen Unterricht als gut, erfolgreich oder angemessen definiert werden kann. Allgemein kann zwischen Unterrichtsmerkmalen der Sichtstruktur und der Tiefenstruktur unterschieden werden (Oser & Baeriswyl, 2001). Merkmale der Sichtstruktur sind unmittelbar im Unterrichtsgeschehen beobachtbar wie etwa Methoden oder Sozialformen, wohingegen Merkmale der Tiefenstruktur vermehrt interpretativ sind, wie bspw. die verfolgten Lernziele oder die kognitive Aktivierung der Schüler*innen (Oser & Baeriswyl, 2001; Steffensky & Neuhaus, 2018). Insbesondere die Tiefenstruktur hat Einfluss auf den Kompetenzerwerb der Lernenden (Steffensky & Neuhaus, 2018).

Unterricht ist allerdings ein komplexes Wirkungsgefüge zahlreicher Variablen, sodass es schwierig ist, einzelne Einflussfaktoren zu identifizieren. Dennoch lassen sich drei zentrale Tiefenstrukturen, die sogenannten Basisdimensionen, aus dem bisherigen Forschungsfeld (für den naturwissenschaftlichen Unterricht) ableiten (Steffensky & Neuhaus, 2018): (1) Klassenführung, (2)

³Diese Definition von Innovation ist abzugrenzen von einer häufig anzutreffenden Begriffsverwendung in Design-Based-Research-Projekten, welche unter Innovation neben der Entwicklung auch die Umsetzung neuer Ansätze verstehen (z.B. Besand, 2015).

kognitive Aktivierung und (3) emotionale Unterstützung (vgl. Baumert & Kunter, 2006; Pianta, Hamre & Mintz, 2012). Praetorius und Charalambous (2018) verglichen zwölf verschiedene theoretische Ansätze zur Beschreibung der Unterrichtsqualität, welche teilweise fachunspezifisch und teilweise mathematikspezifisch bzw. hybrid ausgerichtet sind. Sie konnten ebenfalls die drei genannten Basisdimensionen⁴ und darüber hinaus noch vier weitere Dimensionen ableiten: (4) *content selection and presentation*, (5) *practicing*, (6) *(formative) assessment* und (7) *cutting-across instructional aspects aiming to maximize student learning*.⁵ Es finden sich allerdings nicht alle sieben Dimensionen in allen zwölf Modellen (Praetorius & Charalambous, 2018).

Steffensky und Neuhaus (2018) nennen empirische Evidenzen als Beleg der Wirksamkeit der ersten drei Basisdimensionen. Da Praetorius und Charalambous (2018) nicht selber die Unterrichtsmerkmale herleiten, sondern sich auf bestehende Modelle beziehen, berichten sie keine empirischen Befunde zu den einzelnen Merkmalen. Im Folgenden werden dennoch exemplarisch auch Angaben zur Wirksamkeit der verbleibenden vier Dimensionen gemacht.

Die Klassenführung (1) beeinflusst den Anteil effektiver Lernzeit (Baumert & Kunter, 2006; Praetorius & Charalambous, 2018; Steffensky & Neuhaus, 2018), welcher sich empirisch nachgewiesen positiv auf den Kompetenzzuwachs und das Interesse am Fach der Lernenden auswirkt (Steffensky & Neuhaus, 2018). Eine effektive Zeitnutzung kann somit als notwendige (allerdings nicht als hinreichende) Voraussetzung für guten Unterricht bezeichnet werden.

Kognitive Aktivierung (2) bedeutet, dass sich die Schüler*innen vertieft mit einem Lerngegenstand auseinandersetzen, um ihr Wissen zu erweitern und weiterzuentwickeln (Steffensky & Neuhaus, 2018). Dies zeigt sich bspw. in der Wahl von Aufgaben und deren Einbettung (vgl. Praetorius & Charalambous, 2018). Experimentierphasen oder die Nutzung von Modellen sind hingegen nicht per se kognitiv aktivierend, weshalb Hofstein und Lunetta (2004) explizit zwischen *hands on* und *minds on* für Aktivitäten der Schüler*innen unterscheiden. Für den naturwissenschaftlichen Unterricht kann der *conceptual change* als Teilaspekt der kognitiven Aktivierung gezählt werden, sodass folglich auch die Merkmale *Umgang mit Heterogenität*, *individuelle Förderung*, *Differenzierung* und *Schülerorientierung* im Zusammenhang mit der kognitiven Aktivierung stehen (Helmke, 2009; Steffensky & Neuhaus, 2018). Es liegen empirische Evidenzen vor, dass sich die kognitive Ak-

⁴Praetorius und Charalambous (2018) sprechen von *classroom and time management*, *cognitive activation* und *socio-emotional support*.

⁵Da in dem Forschungsfeld kein Konsens bezüglich der Begriffsverwendungen und Operationalisierungen herrscht, werden hier bewusst die englischsprachigen Begriffe verwendet.

tivierung positiv auf die Lernzuwächse der Schüler*innen auswirkt (Keller, Neumann & Fischer, 2017; Steffensky & Neuhaus, 2018).

Unter emotionaler Unterstützung (3) wird die Herstellung eines konstruktiven Klassenklimas und einer guten Beziehung zwischen den Schüler*innen untereinander sowie zwischen der Lehrperson und den Schüler*innen verstanden (Praetorius & Charalambous, 2018; Steffensky & Neuhaus, 2018). Diese wirkt sich positiv auf die Förderung affektiv-emotionaler Lernziele aus (Steffensky & Neuhaus, 2018).

Praetorius und Charalambous (2018) fassen weiterhin unter *content selection and presentation* (4) die sinnstiftende Auswahl von Fachinhalten und deren strukturierte und fachlich korrekte Darbietung zusammen. Der erste Aspekt stellt eine normative Zielsetzung dar und kann für den deutschsprachigen Raum über den Bildungsgehalt der behandelten Inhalte (Klafki, 1969; Hopmann, 2007) sowie für die Naturwissenschaften über das Konzept *scientific literacy* (OECD, 2006) begründet werden. Für den zweiten Aspekt liegen empirische Belege für dessen Wirksamkeit vor (Lipowsky, 2006).

Practicing (5) bezieht sich auf die Unterstützung der Lehrperson bei der Verfestigung des prozeduralen Wissens und der Fähigkeiten der Schüler*innen durch Üben oder Anwenden (Praetorius & Charalambous, 2018). Dieser Gesichtspunkt kann nach den Operationalisierungen von Steffensky und Neuhaus (2018) als Teilaspekt der kognitiven Aktivierung aufgefasst werden.

(Formative) Assessment (6) beschreibt die Abfrage des Verständnisses der Schüler*innen und die Qualität der Rückmeldungen der Lehrperson (Praetorius & Charalambous, 2018). Es gilt nachgewiesenermaßen als wichtiger Prädiktor für den Erwerb fachlichen Wissens (Hattie, 2009).

Cutting-across instructional aspects aiming to maximize student learning (7) wird von Praetorius und Charalambous (2018) als die Differenzierung und Adaptivität des Lernangebots beschrieben, demzufolge alle Schüler*innen aktiv am Unterrichtsgeschehen beteiligt und maximal gefördert werden sollten. Adaptivität kann als Universalprinzip für guten Unterricht bezeichnet werden und hat daher viele Überschneidungen mit anderen Konstrukten (Einsiedler & Hardy, 2010; Vogelsang, 2014). Es liegen empirische Befunde für die Wirksamkeit von Differenzierung und Adaptivität für den Erwerb fachlichen Wissens vor (z.B. Hattie, 2009).

Aus den vorgestellten Merkmalen guten Unterrichts wird die Schwierigkeit deutlich, ein gemeinsames Verständnis von hoher Unterrichtsqualität zu finden und einheitliche Operationalisierungen aufzustellen (Praetorius & Charalambous, 2018). Praetorius und Charalambous (2018) überprüften bspw. die Einschätzungen der Unterrichtsqualität mittels der sieben Indikatoren aus den von ihnen analysierten Modellierungen an zwei ausgewählten Unterrichtsstunden im Fach Mathematik. Obschon sie teilweise zu überein-

stimmenden Einschätzungen kamen, stellten sie auch Diskrepanzen in den Einschätzungen fest. Daraus resultiert weiterhin die Problematik, geeignete Indikatoren (vor allem einheitliche Standards) zu finden, um die Qualität von Unterricht zu erheben.

Praetorius und Charalambous (2018) kritisieren darüber hinaus, dass in der Unterrichtsqualitätsforschung gleiche Aspekte von Unterricht teilweise unterschiedlich benannt werden (z.B. *classroom management* und *classroom organization*), dass aber ebenso gleiche Begriffe für unterschiedliche Aspekte der Tiefenstruktur angewendet werden (etwa *structure* für Sequenzierung bzw. Kohärenz) (vgl. Steffensky & Neuhaus, 2018). Weiterhin legen verschiedene Untersuchungen teilweise unterschiedliche Schwerpunkte, was zum einen auf verschiedene Intentionen bei der Modellierung von Unterrichtsqualität⁶ und zum anderen auf eine allgemeindidaktische oder fachspezifische Perspektive zurückzuführen ist (Praetorius & Charalambous, 2018; Steffensky & Neuhaus, 2018). Hinzu kommt, dass zur Erfassung der Unterrichtsqualität verschiedene Erhebungsinstrumente wie Unterrichtsbeobachtungen, Aufgabenanalysen, Selbsteinschätzungen der Lehrperson oder Einschätzungen der Schüler*innen angewendet werden, welche nicht direkt miteinander vergleichbar sind. Dies geht mit einer Unterscheidung einer holistischen und einer phasenweisen Analyse des Unterrichts einher. Zudem nutzen verschiedene Studien zum Teil verschiedene Zielvariablen wie den Kompetenzerwerb der Schüler*innen oder die Qualität der Aufgabenstellungen, um Rückschlüsse auf die Unterrichtsqualität zu ziehen, weshalb diese nicht ohne Weiteres vergleichbar sind. Überdies kann nicht von einer direkten Wirkung qualitätsvollen Unterrichts auf den Lernerfolg der Schüler*innen ausgegangen werden (Helmke, 2009; Seidel, 2014; Steffensky & Neuhaus, 2018).

Insofern ist die Vergleichbarkeit von Modellierungen der Unterrichtsqualität und von Studien zur Erfassung der Unterrichtsqualität teilweise erheblich eingeschränkt. Praetorius und Charalambous (2018) sehen somit nicht nur die Vergleichbarkeit der Studien, sondern auch den Nachweis, dass diese reliabel und valide das gewünschte Konstrukt erheben, als problematisch an (vgl. Vogelsang & Cauet, 2017). Allerdings bedeutet das nicht, dass eine Vereinheitlichung der verschiedenen Ansätze angestrebt werden sollte – was bei der Komplexität des Gegenstands möglicherweise ohnedies schwierig zu bewerkstelligen wäre – da verschiedene Blickwinkel für unterschiedliche Intentionen fruchtbar sein können. Aber es sollten einheitlichere Konzeptua-

⁶Verschiedene Intentionen bei der Erfassung der Unterrichtsqualität sind z.B. die Vorhersage von Leistungen der Schüler*innen, Empfehlungen zur Unterstützung des Lernfortschritts der Schüler*innen durch die Lehrkraft (und mögliche Rückschlüsse auf die Lehrer*innenbildung), die Bewertung des professionellen Handelns von Lehrkräften sowie Ausgangspunkt für Feedback für Lehrkräfte (Praetorius & Charalambous, 2018). Diese verschiedenen Absichten haben Einfluss auf die Validierung und somit auf die Vergleichbarkeit von Studien.

lisierungen, Operationalisierungen und Messinstrumente entwickelt werden, um eine systematischere Forschung und die Identifikation bedeutsamer Zusammenhänge ermöglichen zu können (Praetorius & Charalambous, 2018).

Nichtsdestotrotz bieten die vorgestellten sieben Merkmale für die empirische Forschung einen Orientierungsrahmen für eine Definition einer hohen Unterrichtsqualität und wichtige Kriterien für die Analyse von Unterricht. Demnach kann sich eine fachdidaktische Innovation durch die Förderung der kognitiven Aktivierung der Schüler*innen (2), durch die Wahl und Aufbereitung bildungsrelevanter Themen (4) und/oder durch Aufgaben für das Üben der prozeduralen Fähigkeiten der Schüler*innen (5), bspw. durch die Berücksichtigung von Schülervorstellungen oder Ansätzen wie forschendes Lernen oder Problemlösen, auszeichnen. Sie kann Lehrkräfte u.U. auch bei einer Verbesserung des (*formative*) *assessment* (6) und/oder des *cutting-across instructional aspects aiming to maximize student learning* (7) unterstützen. Eine fachdidaktische Innovation wird allerdings vermutlich eher weniger zu einer Verbesserung der Klassenführung (1) beitragen.

2.2. Handlungsressourcen von Lehrkräften als Bedingung des Transfers von Innovationen

Die Unterrichtsqualität hängt auch von den Handlungsressourcen der Lehrkräfte ab, da sie das unterrichtliche Angebot und somit die Lerngelegenheiten der Schüler*innen bedingen (vgl. Darling-Hammond, 2006; Lipowsky, 2006; Hattie, 2009). An diese Handlungsressourcen ist auch die Transferstrategie fachdidaktischer Innovationen, wie in Kapitel 3 näher erläutert wird, gebunden. Aufgrund der teilweise inkonsistenten Befunde zur Unterrichtsqualität ist es jedoch schwierig, konkrete Merkmale einer erfolgreichen Lehrperson abzuleiten. Daher herrscht eine langanhaltende Debatte über die Frage, über welche Ressourcen Lehrkräfte für qualitätsvolles Unterrichten verfügen sollten (Baumert & Kunter, 2006).

2.2.1. Professionelle Kompetenz von Lehrkräften

In der naturwissenschaftlichen Lehr-Lern-Forschung hat sich die professionelle Kompetenz nach Baumert und Kunter (2006) als theoretische Rahmung für die Handlungsressourcen von Lehrkräften durchgesetzt (Harms & Riese, 2018).⁷ Sie folgen der Definition nach Klieme und Leutner (2006, 879), wonach Kompetenzen „kontextspezifische kognitive Leistungsdispositionen [sind], die sich funktional auf Situationen und Anforderungen in bestimmten Domänen beziehen.“

Die Modellierung der Struktur der professionellen Kompetenz nach Baumert und Kunter (2006) umfasst sowohl kognitive als auch affektiv-motivationale Aspekte, wobei das Professionswissen den Schwerpunkt der professionellen Kompetenz bildet (Harms & Riese, 2018). Dieses wird in Anlehnung an die Topologie nach Shulman (1987) in die Facetten *Fachwissen*, *fachdidaktisches Wissen* und *allgemeines pädagogisches Wissen* ausdifferenziert.⁸ Darüber hinaus ergänzen Baumert und Kunter (2006) die Facetten *Organisationswissen* und *Beratungswissen*, welche allerdings von der institutionellen Rahmung abhängen und daher nicht zu den Kernfacetten des Professionswissens gezählt werden. Die Aufteilung in Fachwissen, fachdidaktisches Wissen und allgemeines pädagogisches Wissen konnte (für das Fach Physik) empirisch bestätigt werden (Riese & Reinhold, 2012), wobei das fachliche Verständnis bis zu einem gewissen Grad eine notwendige, aber nicht hin-

⁷Eine Übersicht über weitere Kompetenzmodelle der Lehrer*innenbildung bieten Baumert und Kunter (2006) sowie Harms und Riese (2018).

⁸Shulman (1987) nennt neben diesen Wissensfacetten auch noch das *curricular knowledge*, also Wissen über den Schulstoff, curriculare Vorgaben und Unterrichtsmedien.

reichende Voraussetzung für den Erwerb fachdidaktischen Wissens darstellt (Baumert & Kunter, 2006). Insbesondere dem fachdidaktischen Wissen wird eine maßgebliche Bedeutung für die Unterrichtsqualität und den Lernerfolg der Schüler*innen zugewiesen (Lipowsky, 2006; Keller, Neumann & Fischer, 2017; Harms & Riese, 2018; Kulgemeyer & Riese, 2018).

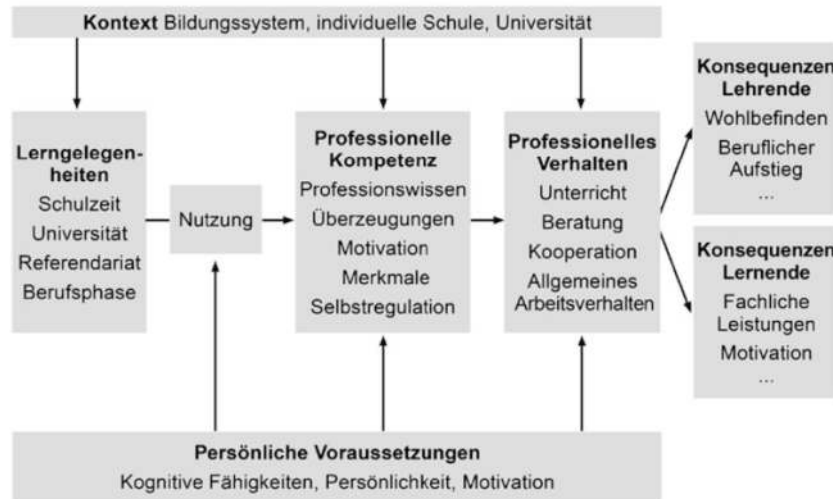


Abbildung 2.1.: Modell der Determinanten und Konsequenzen der professionellen Kompetenz von Lehrkräften (Kunter et al., 2011).

Das *Modell der Determinanten und Konsequenzen der professionellen Kompetenz von Lehrkräften* nach Kunter et al. (2011) stellt ein adaptiertes Angebots-Nutzungs-Modell (vgl. Helmke, 2009) dar (vgl. Abb. 2.1). Es kann für die Beschreibung möglicher Einflussfaktoren auf den Transfer fachdidaktischer Innovationen, die als Lerngelegenheiten für Lehrkräfte interpretiert werden können, herangezogen werden. Unterschiede in der Qualität des professionellen Handelns können demzufolge u.a. auf die Qualität der Lerngelegenheiten für Lehrkräfte zurückgeführt werden (Kunter et al., 2011). Allerdings ist die Umsetzung der Inhalte aus den Lerngelegenheiten

„kein passiver Automatismus, sondern ist – genauso wie wir es für das Lernen von Schülern annehmen – von der individuellen Nutzung der Lerngelegenheit durch die Lernenden – also in diesem Fall die Lehrkräfte – abhängig“ (Kunter et al., 2011, 62).

Unterschiede in der Unterrichtspraxis können also u.a. in individuellen Personenmerkmale bzw. Unterschieden in der professionellen Kompetenz begründet liegen. Der Einfluss dieser Faktoren auf das unterrichtliche Handeln von Lehrkräften wird im Folgenden genauer betrachtet.

2.2.2. Handlungsrelevanz von Wissen

Es ist eine gängige Annahme, dass das Professionswissen eine wichtige Voraussetzung für gutes und erfolgreiches Unterrichten sei, was allerdings so allgemeingültig (für den Physikunterricht) nicht bestätigt werden kann (vgl. Vogelsang, 2014; Vogelsang & Cautet, 2017). Stattdessen teilt Neuweg (2011) das Professionswissen in drei unterschiedlich stark handlungsnahe Wissensbereiche auf: Wissen 1, Wissen 2 und Wissen 3. Unter Wissen 1 versteht Neuweg (2011) kanonisches Wissen, wie es in Lehrbüchern enthalten ist und in der Ausbildung erworben wird. Dieser Wissensbereich wird oft auch als *deklaratives Wissen* bezeichnet und ist in der Regel gut verbalisierbar (z.B. Baumert & Kunter, 2006; Leuchter, 2009).

Wissen 2 beschreibt hingegen die kognitiven Strukturen von Lehrkräften als handlungssteuerndes Wissen, dem *knowing how*, was häufig auch als *prozedurales Wissen* bezeichnet wird (Neuweg, 2011). Wissen 2 ist folglich individuell verschieden (Soeffner, 2004) und liegt oftmals in Form von Handlungsskripten vor (z.B. Baumert & Kunter, 2006; Leuchter, 2009). Dieses Wissen ist in der Regel implizit und erfahrungsgebunden – und zeugt teilweise von einer „implizite[n] Blindheit“ (Neuweg, 2002, 22), weshalb sich dieses subjektive Wissen nur schwer von Werthaltungen und Überzeugungen entkoppeln lässt (vgl. Abschnitt 2.2.3). Wissen 1 bzw. Wissen 2 werden in der empirischen Lehr-Lern-Forschung auch oft kurz als *Wissen* bzw. *Können* bezeichnet (Baumert & Kunter, 2006).

Wissen 3 stellt demgegenüber nach Neuweg (2011) die Zuschreibung eines externen Beobachters für die Erklärung eines beobachteten Verhaltens einer Lehrkraft (Performanz) dar. Demnach wird Wissen durch einen Transformationsprozess im Handeln wirksam, bspw. durch explizites Wissen über Unterrichtskonzepte (vgl. Vogelsang, 2014). Ebendieser Transformationsprozess von Wissen in Performanz und umgekehrt stellt die Herausforderung in der Beschreibung der Handlungsrelevanz von Wissen dar.

Eine ähnliche Unterteilung nehmen auch Alonzo, Berry und Nilsson (2019) nach dem *Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge* (PCK) (Carlson et al., 2019) vor. Sie unterscheiden *collective PCK* (cPCK), *personal PCK* (pPCK) und *enacted PCK* (ePCK), wobei das cPCK bzw. pPCK als äquivalent zu Wissen 1 bzw. Wissen 2 bei Neuweg (2011) betrachtet werden können.⁹ Das ePCK ist hingegen nicht mit der Auffassung von Wissen 3 gleichzusetzen, da Alonzo, Berry und Nilsson (2019) diesen Wissensbereich im Gegensatz zu Neuweg (2011) als innere Ressource der Lehrperson

⁹Alonzo, Berry und Nilsson (2019) diskutieren allerdings nicht das Verhältnis von pPCK und Überzeugungen, sodass unklar ist, wie die Autorinnen diese miteinander in Beziehung setzen bzw. voneinander abgrenzen. Carlson et al. (2019) bezeichnen *attitudes* und *beliefs* als *amplifiers* und *filters* des pPCK, lassen aber ebenfalls die genaue Rolle im *Refined Consensus Model* offen.

definieren, die nur im Moment der Handlung wirksam ist, dem sogenannten *tacit knowledge in action*.¹⁰ Sie nehmen dabei an, dass auf das ePCK sowohl beim Planen (ePCK_P) als auch beim Unterrichten (ePCK_T) als auch beim Reflektieren (ePCK_R) zurückgegriffen wird.

Diese theoretische Rahmung wird von Neuweg (2002) als instrumentalistische Interpretation bezeichnet. Er kritisiert, was es bedeuten soll, „dass jemand unbewusst plant und denkt, wenn sowohl der Beobachter als auch das Subjekt selber nur aus dem Verhalten auf solche Vorgänge zurückschließen können“ und „dass jemand unbewusst Gewusstes unbewusst erinnert und anwendet“ (Neuweg, 2002, 16). Aufgrund dessen bewertet Neuweg (2002) das Konzept des handlungsleitenden Wissens als theoretisch fragwürdig.¹¹ Er plädiert stattdessen für eine realistische Interpretation des Wissens, bei welcher der Schwerpunkt auf der Ausführungsqualität statt auf den mentalen Begleitakten liegt (Neuweg, 2002). Demnach hat die handelnde Person das Wissen im Kopf, es ist ihr aber nicht bewusst und spiegelt sich lediglich im Handeln wider. Nicht zufriedenstellend an dieser Interpretation ist jedoch, dass durch die externe Zuschreibung das Wissen sowohl unterschätzt als auch überschätzt werden kann, da vermutlich nicht in jeder Unterrichtssituation das volle Potential einer Lehrperson ausgeschöpft wird bzw. möglicherweise auch zufällige Entscheidungen als absichtsvoll deklariert werden. Dieses Dilemma zwischen den beiden verschiedenen Definitionen zeigt die Schwierigkeit der Modellierung der Handlungsrelevanz von Wissen auf.

Hierzu lässt sich das von Stender (2014) entwickelte *Transformationsmodell der Unterrichtsplanung* anführen, welchem die Annahme zugrundeliegt, dass Lehrkräfte während des Unterrichts nicht auf deklaratives Wissen, sondern auf prozedurales Wissen in Form von sogenannten Handlungsskripten zurückgreifen. Diese Handlungsskripte werden nach Stender (2014) durch die Unterrichtsplanung und die Reflexion des Unterrichts geformt und me-

¹⁰Es erscheint aufgrund der vielfach festgestellten Handlungsrelevanz des fachdidaktischen Wissens (Harms & Riese, 2018) sinnvoll, diese Einteilung konkret für das fachdidaktische Wissen vorzunehmen. Dem Beitrag von Alonzo, Berry und Nilsson (2019) fehlt nichtsdestotrotz eine Diskussion, inwiefern eine ähnliche Einteilung auch für das CK und das PK denkbar wären oder ob diese beiden Wissensfacetten ausschließlich über das PCK handlungswirksam werden (vgl. Borko & Putnam, 1995; Kulgemeyer & Riese, 2018).

¹¹Neuweg (2002) räumt allerdings ein: „Die Aussage, jemand habe irgendein Wissen im Kopf, ist nicht widerlegbar, weil es keine Möglichkeit gibt, es unabhängig von dem Verhalten, das es erklären soll, zu messen“ (Neuweg, 2002, 16). Dies ist jedoch durchaus auch als Kritik zu verstehen, da Neuweg damit impliziert, dass das Postulieren einer nicht widerlegbaren These aus wissenschaftstheoretischer Perspektive per se kritisch zu bewerten ist (vgl. Popper, 1935). Alonzo, Berry und Nilsson (2019) merken allerdings über ihre eigene Definition kritisch an: „We cannot directly observe the ePCK involved in teachers' planning, teaching or reflecting and, thus, do not know exactly what motivates a given instructional move“ (Alonzo, Berry & Nilsson, 2019, 284).

diieren den Einfluss des Professionswissens auf die Unterrichtspraxis (vgl. Baumert & Kunter, 2006).

„Für die Entwicklung des kompetenten Handelns im Unterricht spielt die Unterrichtsplanung eine wesentliche Rolle, denn dabei kann die Lehrperson bewusst deklaratives Professionswissen kompilieren und in Handlungsskripte überführen“ (Stender, 2014, 38).

Auch Alonzo, Berry und Nilsson (2019) betonen den Zyklus von Planen, Unterrichten und Reflektieren und gehen davon aus, dass insbesondere in der Unterrichtsplanung und -reflexion pPCK zu ePCK und umgekehrt transformiert wird.

Das Modell von Stender (2014) konnte mithilfe von Vignettentests von 51 Studierenden, 48 Referendar*innen und 49 ausgebildete Lehrkräften im Fach Physik bestätigt werden (Stender, 2014). Allerdings wurde das Modell bislang nicht zur Begründung einer Modellierung des Professionswissens herangezogen (vgl. Vogelsang & Cauet, 2017).

Aufgrund des ungeklärten Zusammenhangs zwischen Wissen und Handeln ergeben sich über die Schwierigkeit der Formulierung von Schlussfolgerungen für die Lehrer*innenbildung hinaus auch methodologische Schwierigkeiten für die Erhebung handlungsrelevanten Wissens. Bei der Erhebung von Wissen 3 wird aus der Performanz geschlossen, dass die Lehrperson weiß, wie etwas geht, indem sie es demonstriert, was sie aber nicht notwendigerweise verbalisieren kann. Da Handlungsanweisungen im Unterrichtsgeschehen als absichtsvolle und bewusste Handlungsweisen angesehen werden können, erscheint diese Annahme plausibel (vgl. Vogelsang, 2014). Im Gegensatz dazu ist Wissen 2 aufgrund der subjektiven Beschaffenheit und der daraus resultierenden mangelnden Standardisierbarkeit schwierig zu erheben (z.B. Baumert & Kunter, 2006; Leuchter, 2009; Vogelsang, 2014; Kulgemeyer & Riese, 2018). Denn Wissen 2 liegt oftmals als implizites Wissen, dem sogenannten *tacit knowledge*, vor, welches unmittelbar im Moment des Handelns wirksam ist. Daher ist es so eng mit der Handlung verbunden, dass es ohne eigene Handlung bzw. ohne konkrete Erinnerung an eine eigene Handlungssituation nicht expliziert werden kann (Leuchter, 2009). Wenn man radikal der Position des impliziten Wissens folgt, wäre eine Erhebung dieses und damit der Ressource für Handeln im Unterricht nicht möglich (Vogelsang, 2014). Laut Schön (1983) kann jedoch das implizite Wissen durch eine retrospektive Reflexion bewusstgemacht werden, bspw. in *stimulated recalls* (vgl. Groeben, Wahl, Schlee & Scheele, 1988; Fenstermacher, 1994; Soeffner, 2004; Leuchter, 2009).

Für den Bereich der Naturwissenschaften liegen bislang nur wenige empirische Untersuchungen für den Zusammenhang zwischen Wissen und Handlungskompetenz vor – für das Fach Mathematik ist dieser Zusammenhang

hingegen schon besser erforscht. Die bisherigen Ergebnisse hierzu sind jedoch widersprüchlich in Bezug auf den Einfluss von Fachwissen bzw. fachdidaktischem Wissen auf die Unterrichtsqualität (Lipowsky, 2006). Bspw. konnten Hill, Rowan und Ball (2005) eine positive Wirkung von Wissen auf die Unterrichtsqualität im Fach Mathematik feststellen, wohingegen Delaney (2012) keine signifikanten Korrelationen beobachtete – trotz der Nutzung desselben Erhebungsinstruments. Die COACTIV-Studie (Baumert et al., 2010) zeigt eine positive Beeinflussung der Leistungen der Schüler*innen durch das PCK der Lehrkräfte, welches durch die kognitive Aktivierung mediiert wird (vgl. Keller, Neumann & Fischer, 2017), wohingegen das *content knowledge* (CK) keinen direkten Einfluss auf die Unterrichtsqualität zu haben scheint, sondern über das PCK wirkt. Cauet, Liepertz, Borowski und Fischer (2015) konstatieren hingegen, dass weder das CK noch das PCK signifikant mit der kognitiven Aktivierung korrelieren. Darüber hinaus konnte das professionelle Wissen nicht die Varianz der Lernzuwächse der Schüler*innen erklären (Cauet et al., 2015). Schröder, Vogelsang & Riese (2020) konnten hingegen signifikante Zusammenhänge zwischen dem fachdidaktischen und erziehungswissenschaftlichen Wissen sowie der Planungsfähigkeit angehender Physiklehrkräfte feststellen. Der Zusammenhang fällt allerdings schwach aus. Weiterhin berichten Kempin, Kulgemeyer und Schecker (2020), dass sich das Fachwissen und das fachdidaktische Wissen zusammen positiv auf den Zuwachs der Reflexionsfähigkeit angehender Physiklehrkräfte über das Praxissemester auswirken.

Aus den vorliegenden Befunden lässt sich schlussfolgern, dass die Handlungsrelevanz verschiedener Wissensfacetten teilweise sehr unterschiedlich ausfällt, was die Fragen aufwirft, welche Inhalte der Lehrer*innenbildung für die Unterrichtsqualität und für den Lernfortschritt der Schüler*innen relevant sind (zumindest für die Facetten, die in Tests erfasst werden) bzw. ob die eingesetzten Messinstrumente valide sind (Vogelsang, 2014; Kulgemeyer & Riese, 2018). Letzteres könnte insofern der Fall sein, da bei Professionswissenstest das Explizieren von Wissen gefordert wird, weshalb vermutlich Wissen 1 erhoben wird, von dem theoretisch nach Neuweg (2011) auch kein direkter Einfluss auf guten Unterricht erwartet wird (Vogelsang & Cauet, 2017).¹²

Insgesamt kann also gefolgert werden, dass der Wirkmechanismus zwischen Wissen und Handeln bislang noch nicht gut verstanden ist, wobei die Annahme einfacher Wirkheuristiken in jedem Fall inadäquat erscheint. Eine offene Frage der Lehrer*innenbildungsforschung ist, wie Wissen 1 (Ausbildungswissen) und Wissen 3 (Handeln) zusammenhängen (Vogelsang & Cauet, 2017). Nichtsdestotrotz kann davon ausgegangen werden, dass die

¹²Vogelsang (2014, 14) spricht von einer „Krise der Interpretation der Daten“, weil eine Prüfung der Validität der Messergebnisse selten bzw. nicht explizit vorgenommen wird.

Handlungskompetenz von Lehrkräften eng mit dem professionellen Wissen zusammenhängt (vgl. Baumert & Kunter, 2006; Leuchter, 2009; Kempin, Kulgemeyer & Schecker, 2020; Schröder, Vogelsang & Riese, 2020). Dies erscheint insbesondere für Handlungen wie die Unterrichtsplanung, also vorab beschlossene Handlungsentscheidungen, plausibel, weil diese wesentlich bewusster ablaufen als etwa Prozesse wie Fahrradfahren. Zudem kann festgehalten werden, dass das fachdidaktische Wissen besonders bedeutsam für das professionelle Handeln ist, wohingegen das Fachwissen und das allgemeine pädagogische Wissen für sich alleine kaum handlungswirksam sind (vgl. Borko & Putnam, 1995; Kulgemeyer & Riese, 2018; Schröder, Vogelsang & Riese, 2020).

Nach dem *Transformationsmodell der Unterrichtsplanung* (Stender, 2014) kann bei der Implementierung einer fachdidaktischen Innovation zwischen Verstehensprozessen und volitionalen Entscheidungen einer Lehrperson unterschieden werden. Letztere werden neben dem professionellen Wissen auch stark von den Überzeugungen und den motivationalen Orientierungen einer Person beeinflusst (vgl. Abschnitt 2.2.3 & 2.2.4). Weiterhin lässt sich ableiten, dass ein nachhaltiger Transfer in die Schulpraxis nur dann gelingt, wenn sich eine Lehrperson mit einer Innovation auseinandersetzt, diese implementiert und die neuen Praktiken daraufhin langfristig durch eine Überführung in Handlungsskripte in ihre Unterrichtspraxis integriert.

Im Zuge der Debatte zur Handlungswirksamkeit von Wissen und der daraus resultierenden Diskussion über die Inhalte der Lehrer*innenbildung stellt sich darüber hinaus die Frage, welche Erwartungen überhaupt an eine Lehrperson gestellt werden können bzw. was eine Lehrperson leisten soll. Ein Standpunkt ist, die curricularen Freiheiten der Lehrkräfte einzugrenzen und über Kerncurricula systemisch zu steuern. Nach dem gegensätzlichen Standpunkt sollten Lehrkräften hingegen viele Freiheiten und viel Autonomie sowie die Rolle als Experte eingeräumt werden. Demnach sind nationale Kerncurricula oftmals „out of touch with classroom reality“ (Hopmann, 2007, 114) und bedürfen einer Überführung durch die Lehrperson in die Unterrichtspraxis. Im Kontext der Debatte zu den Inhalten der Lehrer*innenbildung sollte also auch diskutiert werden, wofür Lehrkräfte befähigt werden sollen, welches professionelle Wissen notwendigerweise von der Lehrperson mitgebracht werden muss, um guten Unterricht zu gestalten, und welches professionelle Wissen auch systemisch, z.B. in Form von Kerncurricula, eingebracht werden kann. Diese Debatte formt natürlich ebenfalls die Erwartungshaltung an die Rolle der Lehrperson bei der Implementierung fachdidaktischer Innovationen und die Wirksamkeit verschiedener Transferstrategien (vgl. Kapitel 3).

2.2.3. Werthaltungen und Überzeugungen

Wie bereits angeklungen, können Werthaltung und Überzeugungen nicht trennscharf vom (subjektiven) Wissen abgegrenzt werden, da erfahrungs-basiertes Wissen auf der Grundlage von Überzeugungen gebildet wird. Diesen Prozess bezeichnet Schön (1983) als *reflection on action*. Baumert und Kunter (2006) unterscheiden in Anlehnung an Pajares (1992) (a) Wertbindungen, (b) epistemologische Überzeugungen, (c) subjektive Theorien über das Lehren und Lernen¹³ sowie (d) Zielsysteme für Curriculum und Unterricht.

„Diese *beliefs* haben im Unterschied zu Wissen weder den Kriterien der Widerspruchsfreiheit noch den Anforderungen der argumentativen Rechtfertigung und der diskursiven Validierung zu genügen. Es genügt der individuelle Richtigkeitsglaube“ (Baumert & Kunter, 2006, 497, Hervorhebungen übernommen).

Da sie als Auswahlfilter für Handlungen gesehen werden können, sind sie im Modell der professionellen Handlungskompetenz nach Baumert und Kunter (2006) enthalten (vgl. Abschnitt 2.2.1).

Ähnlich wie für die Handlungsrelevanz von Wissen (siehe Abschnitt 2.2.2) zeigt sich, dass lineare Wirkungsmodelle von Werthaltungen und Überzeugungen auf das unterrichtliche Handeln die Komplexität der Wirkzusammenhänge nicht ausreichend abbilden (Jones & Carter, 2010). So entwickelten Ajzen und Fishbein (1980) die *Theory of Reasoned Action*, welche den Zusammenhang zwischen *beliefs*, *attitudes*, *behavioral intention* und *volitional behavior* darstellt. Daraus entwickelte Ajzen (1991) die *Theory of Planned Behavior*, welche sich im Gegensatz zur *Theory of Reasoned Action* nicht nur auf die Handlungen beschränkt, welche vom Individuum volitional beeinflusst werden, sondern auch die wahrgenommene Kontrolle über das Handeln als Prädiktor für weitere Handlungen betrachtet (vgl. Jones & Carter, 2010). Im *Sociocultural Model of Embedded Belief Systems* (Jaccard, Litar-do & Wan, 1999) findet darüber hinaus der soziokulturelle Kontext (wie die betreuende Lehrperson im Praktikum) besondere Beachtung bei der Beeinflussung des professionellen Handelns.

Vergleichbar mit dem professionellen Wissen (vgl. Abschnitt 2.2.2) kann auch in der Handlungsnahe subjektiver Theorien unterschieden werden, weshalb Wahl (1991; 2013) (a) subjektive Theorien großer Reichweite, (b) subjektive Theorien mittlerer Reichweite und (c) subjektive Theorien geringer Reichweite differenziert. Subjektive Theorien großer und mittlerer Reich-

¹³In der Literatur wird auch häufig von *Vorstellungen zum Lehren und Lernen* gesprochen. Der Begriff *subjektive Theorie* suggeriert, dass die Ansichten einer Lehrperson konsistent und begründet sind sowie aufeinander aufbauen. Im Folgenden wird in der Regel der offenere Begriff *Vorstellungen* verwendet, um auch gegebenenfalls Inkonsistenzen in den Ansichten einer Person theoretisch zuzulassen.

weite sind „aufgrund ihrer Binnenstruktur [...] nicht direkt an der Steuerung des menschlichen Handelns beteiligt“ (Wahl, 2013, 20), wohingegen subjektiven Theorien geringer Reichweite, insbesondere beim Handeln unter Druck, handlungsleitend sind. Sie sind jedoch der handelnden Person in der Regel nicht bewusst, sodass gerade diese handlungssteuernden Überzeugungen schwierig zu verändern sind. Aufgrund dieser Einteilung können Inkonsistenzen zwischen Überzeugungen und Handlungen einer Person plausibel erklärt werden. Daraus resultiert, dass eine Veränderung der subjektiven Theorien großer Reichweite sich nicht notwendigerweise in der Handlungspraxis niederschlägt (vgl. Duit & Treagust, 2003).

Werthaltungen und Überzeugungen sind in der Regel sehr stabil und resistent gegenüber Veränderung (Pajares, 1992). Dies gilt insbesondere für erfahrene Lehrkräfte. Für angehende Lehrkräfte liegen empirische Evidenzen vor, dass sich ihre Werthaltungen und Überzeugungen nicht so wie bei routinierten Lehrkräften gefestigt haben und deshalb noch vergleichsweise einfach beeinflussbar sind, wobei jedoch auch hier von einer großen Stabilität auszugehen ist (Jones & Carter, 2010). Diese Stabilität lässt sich dadurch erklären, dass neue Informationen bereits durch die bestehenden Werthaltungen und Überzeugungen gefiltert werden und sich diese zudem über Jahre hinweg etabliert und angepasst haben (Jones & Carter, 2010).

„Allein aufgrund der Länge der eigenen Schulzeit – so eine Vermutung – könnten sich diese Überzeugungssysteme derartig verfestigen, dass die theoretische Beschäftigung und einführende Praxis während der Lehrerausbildung wirkungslos bleiben müssten“ (Baumert & Kunter, 2006, 506).

Es gibt allerdings durchaus langfristig angelegte Interventionsprogramme, die eine erfolgreiche Modifizierung der Werthaltungen und Überzeugungen erreichen (Baumert & Kunter, 2006; Jones & Carter, 2010). Allerdings bedeutet eine Änderung der Überzeugungen einer Lehrperson nicht unbedingt, dass sich auch die Handlungspraxis ändern wird bzw. kann – denn häufig fehlt es an Zeit oder Ressourcen wie Versuchsmaterialien bspw. für Hands-on-Aktivitäten, um neue Handlungen umzusetzen (Jones & Carter, 2010). Es ist zudem ungeklärt, ob auf eine Änderung der Überzeugungen eine Änderung der Unterrichtspraxis oder umgekehrt folgt – je nach Richtung der wirkenden Veränderung hätte dies natürlich Auswirkungen auf die Gestaltung von Weiterbildungsmaßnahmen (vgl. Leuchter, 2009).

Die Erhebung handlungsleitender Überzeugungen von Lehrkräften ist, ähnlich wie die Erhebung von implizitem Wissen, insofern schwierig, da unbewusste Denkprozesse während der Planung und Durchführung von Unterricht nicht ohne Weiteres im Nachhinein von der handelnden Person expliziert werden können (Groeben et al., 1988; Neuweg, 2011). Dabei handelt es sich um ein grundsätzliches methodologisches Problem, da die befragte

Person natürlich nur über das Auskunft geben kann, woran sie sich erinnert (Fischler, 2000a). Darüber hinaus besteht die Gefahr, wenn eine befragte Person ihre subjektiven Theorien rekonstruiert, dass sie ihre eigene Welt- und Selbstsicht elaborierter, stringenter, präziser, tiefer und breiter darstellt, als diese eigentlich ist (Groeben et al., 1988). Groeben et al. (1988) schlagen daher die Kombination eines fokussierten allgemeinen Interviews mit *stimulated recalls* basierend auf Videoprompts vor, um die Innensicht mit der Außensicht ausreichend zur Deckung zu bringen (vgl. Weidle & Wagner, 1982). Dieses Vorgehen bietet sich insbesondere für komplexe Situationen wie etwa Unterrichten an, wohingegen für einfache Situationen das handlungsparallele laute Denken geeignet ist (Leuchter, 2009).

Der zeitliche Abstand zwischen Unterrichtsvideographie und *stimulated recall* sollte möglichst kurz sein, da der Zugriff auf das Langzeitgedächtnis die Fehleranfälligkeit erhöht (Weidle & Wagner, 1982; Leuchter, 2009). Idealerweise sollte eine Lehrperson die Klasse seit der Unterrichtsvideographie nicht erneut unterrichtet haben, da dies die Erinnerung trüben könnte.¹⁴ Falls dies nicht zu bewerkstelligen ist, wird eine simulierte Wiederholung der Ereignisse der Unterrichtsstunde bspw. mittels Unterrichtsprotokoll empfohlen, bevor mit der Lehrperson die Unterrichtsvorkommnisse rekonstruiert werden (Leuchter, 2009). Die im *stimulated recall* vorgespielte Unterrichtssituationen sollten nach Wahl (2013) nicht länger als zwei Minuten dauern, um die befragte Person nicht mit zu vielen Eindrücken zu überfordern.

Zum Einfluss von Werthaltungen und Überzeugungen von Lehrkräften liegen bislang inkonsistente empirische Befunde vor. Einige Studien berichten über einen Zusammenhang der Vorstellungen zum Lehren und Lernen mit der Unterrichtsführung (nachzulesen bei Staub, 2001; Baumert & Kunter, 2006; Lipowsky, 2006; Jones & Carter, 2010), demzufolge Lehrkräfte mit einer schülerzentrierten Haltung effektiver unterrichten als Lehrkräfte mit einer transmissiven Haltung, die also glauben, sie müssten ihr Wissen lediglich an die Schüler*innen übertragen (Prosser & Trigwell, 1999). Andere konnten hingegen keine oder lediglich unsystematische Zusammenhänge erkennen (z.B. Leuchter, Pauli, Reusser & Lipowsky, 2006).

Diese Befunde könnten, ähnlich wie bei der Überprüfung der Handlungsrelevanz von Wissen (vgl. Abschnitt 2.2.2), darauf hindeuten, dass entweder Lehrkräfte in ihrem Handeln so routiniert sind, dass handlungsleitende Überzeugungen nur schwer nachzuweisen sind oder vor allem handlungsferne Überzeugungen erhoben werden, weshalb Inkongruenzen zur Unterrichtspraxis festgestellt werden (vgl. Leuchter et al., 2006). Hinweise für letzteres liefert eine Studie von Fischler (2000b), die beim Vergleich von Unterrichtsbeobachtungen und Interviews von 35 Physiklehramtsstudierenden feststell-

¹⁴Weidle und Wagner (1982) empfehlen sogar eine Durchführung noch am selben Tag.

te, dass fast alle der untersuchten Studierenden, wenn auch oft unbewusst, Handlungsprinzipien folgen, die in Widerspruch zu den von ihnen genannten Unterrichtsprinzipien stehen (Fischler, 2000b). Es lässt sich allerdings zumindest festhalten, dass eine höhere Komplexität der subjektiven Theorien (also ein reichhaltigeres subjektives Wissen), eine gute Organisation dieser, sodass ein schnelles Reagieren möglich ist, sowie die Konsistenz zwischen subjektiven Theorien und Handeln sich positiv auf das professionelle Handeln von Lehrkräften auswirkt (Dann, 1989).

Simple Ursache-Wirkungs-Modelle sind folglich nicht ausreichend, um den Einfluss von Überzeugungen und Werthaltungen auf das Handeln von Lehrkräften zu beschreiben, denn gerade die Entwicklung der Überzeugungen über die Zeit und der soziokulturelle Kontext stellen wichtige Komponenten dar (Jones & Carter, 2010).

Für den Transfer fachdidaktischer Innovationen in die Schulpraxis bedeutet das, dass die Werthaltungen und Überzeugungen einer Lehrperson einen Filter für die Wahrnehmung der Innovation und weiterhin einen Auswahlfilter für die Implementierung neuer Praktiken darstellen. Die Vorstellungen zum Lehren und Lernen sind dabei vermutlich am ausschlaggebendsten, weil sie sich explizit auf den Gegenstand einer fachdidaktischen Innovation beziehen (vgl. Staub & Stern, 2002).

2.2.4. Motivationale Orientierungen

Die motivationalen Orientierungen werden von Baumert und Kunter (2006) als Bestandteil der professionellen Kompetenz von Lehrkräften und somit als Handlungsdisposition gewertet. Aus diesem Grund werden sie auch als möglicher Bedingungsfaktor für den Transfer fachdidaktischer Innovation angenommen. Motivationale Orientierungen und Selbstregulation setzen sich aus selbstbezogenen Kognitionen wie den Selbstwirksamkeitserwartungen und dem Belastungserleben zusammen (Baumert & Kunter, 2006). Bandura (1997)

„versteht unter Selbstwirksamkeit die Überzeugung einer Person, über die Fähigkeiten und Mittel zu verfügen, um diejenigen Handlungen durchzuführen zu können, die notwendig sind, um ein definiertes Ziel zu erreichen – und zwar auch dann, wenn Barrieren zu überwinden sind“ (Bandura, 1997, zitiert nach Baumert & Kunter, 2006, 502).

Die Selbstwirksamkeitserwartungen sind domänenspezifisch sowie handlungsbezogen und bilden einen wichtigen Faktor der Regulationsfähigkeit von Lehrkräften im Unterricht (Baumert & Kunter, 2006). Denn die Selbstwirksamkeit hat Einfluss darauf, ob Handlungen überhaupt aufgenommen wer-

den und mit welcher Ausdauer und Anstrengung sie verfolgt werden (Bandura, 1997).

Es liegen empirische Evidenzen vor, dass diese direkten Einfluss auf die Unterrichtsvorbereitung und Unterrichtsführung haben, insbesondere auf das konstruktive Unterstützungsverhalten (Baumert & Kunter, 2006; Leuchter et al., 2006). Für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht ist bekannt, dass hohe Selbstwirksamkeitserwartungen zu höheren Zielsetzungen, mehr aufgewendeter Zeit für die Unterrichtsplanung, mehr Offenheit für neue Ideen und einem größeren Enthusiasmus der Lehrperson führen (Lipowsky, 2006).

2.2.5. Folgerungen für diese Arbeit

Da die Handlungsressourcen einer Lehrperson die Grundlage ihres professionellen Handelns darstellen, steuern und filtern sie auch die Umsetzung fachdidaktischer Innovationen. Eine gängige Modellierung für die Handlungsressourcen von Lehrkräften bildet die professionelle Kompetenz nach Baumert und Kunter (2006). Der zufolge setzt sich die professionelle Kompetenz aus dem professionellen Wissen, den Überzeugungen und den motivationalen Orientierungen einer Lehrperson zusammen.

Obschon nicht abschließend geklärt ist, welches Wissen und Können für gutes Unterrichten notwendig ist, kann aus dem derzeitigen Forschungsstand abgeleitet werden, dass in erster Linie das fachdidaktische Wissen handlungsleitend ist. Daher ist anzunehmen, dass insbesondere das fachdidaktische Wissen einer Lehrperson ihr Verständnis von und ihren Umgang mit einer fachdidaktischen Innovation prägen.

Nichtsdestoweniger kann aus zahlreichen Untersuchungen die zentrale Rolle der Überzeugungen der Lehrperson auf ihre Handlungspraxis gefolgert werden. Diese sollten daher als Einflussfaktor nicht unterschätzt werden. Allerdings unterscheiden sich die Überzeugungen einer Lehrperson in ihrer Handlungsnähe, sodass beim Handeln unter Druck teilweise andere Überzeugungen aktiviert werden, als dies der pädagogischen Grundhaltung bzw. den ursprünglichen Intentionen einer Lehrperson entspricht. Daher sollte die Erfassung handlungsleitender Kognitionen in konkreten Unterrichtssituationen erfolgen, um authentische Rahmenbedingungen zu gewährleisten. Empfohlen wird dazu die Verknüpfung von Unterrichtsvideographie und anschließendem *stimulated recall* auf Basis konkreter Unterrichtssituationen. Für den Transfer fachdidaktischer Innovationen in die Schulpraxis spielen vermutlich die Vorstellungen zum Lehren und Lernen eine entscheidende Rolle, da diese den Gegenstand einer solchen Innovation betreffen. Darüber hinaus bilden die motivationalen Orientierungen und die Selbstwirksamkeitserwartungen

einen weiteren zentralen Bedingungsfaktor für das unterrichtliche Handeln einer Lehrperson.

Eine besondere Herausforderung für Lerngelegenheiten von Lehrkräften ist, dass die Zielgrößen einer Lerngelegenheit zugleich auch die Determinanten der Wahrnehmung und der Handlungspraxis von Lehrkräften darstellen, sodass es offenkundig zu einem komplexen Wechselspiel der verschiedenen Faktoren kommt.

3. Transfer fachdidaktischer Innovation in die Schulpraxis

Nachdem im vorangehenden Kapitel Merkmale guten Unterrichts als Ziel fachdidaktischer Innovation und Bedingungsfaktoren guten Unterrichts als Voraussetzungen für den Transfer fachdidaktischer Innovation in die Schulpraxis vorgestellt wurden, folgt nun die Beschreibung verschiedener Transferstrategien. Der Ansatz der Diffusionsforschung betrachtet die „natürliche“ Verbreitung von Innovationen, wie dies bspw. bei technologischen Entwicklungen häufig der Fall ist (Gräsel, 2019; Schrader et al., 2020). Die gezielte Überführung von Innovationen in die Unterrichtspraxis durch konkrete Maßnahmen oder Interventionen ist hingegen Gegenstand der Transferforschung (Schrader et al., 2020). Die Untersuchung der Implementierung fachdidaktischer Innovationen ist daher der Transferforschung zuzuordnen.

Anders als die Wirtschaft oder Medizin gilt das deutsche Schulsystem als „transferträge“ (Gräsel, 2019, 4). Die Gestaltung von Unterricht auf der Grundlage von empirischen Evidenzen setzt voraus, dass Lehrkräfte sich mit wissenschaftlichen Erkenntnissen auseinandersetzen.

„Dafür ist es notwendig, von der Existenz derartiger Forschungsergebnissen [sic!] überhaupt zu wissen. Grundlegendes Wissen besteht also zunächst in der bloßen Kenntnis spezifischer Forschungsergebnisse. Dies scheint häufig nicht gegeben zu sein“ (Hetmanek et al., 2015, 205).

Diese mangelnde Kenntnis von Lehrkräften von aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen der Lehr-Lern-Forschung wurde auch in anderen empirischen Untersuchungen festgestellt (Köller, Möller & Möller, 2013; Duit et al., 2014; Bauer et al., 2017; Rochnia & Trempler, 2019). Um Lehrkräften evidenzbasierte, fachdidaktische Innovationen näherzubringen, wird typischerweise einer der drei Zugangswege (a) Lehrer*innenausbildung, (b) Fortbildungsmaßnahmen und (c) das Selbststudium durch bereitgestellte Unterrichtskonzeptionen gewählt. Diese werden im Folgenden nacheinander vorgestellt.

3.1. Lehrer*innenausbildung

Die Lehrer*innenausbildung bildet den Ausgangspunkt der Professionalisierung zukünftiger Lehrkräfte. Sie gliedert sich in die erste Ausbildungsphase, das Studium, und die zweite Ausbildungsphase, das Referendariat. Beide Phasen bieten die Möglichkeit, eine evidenzbasierte Praxis der Lehramtsanwärter*innen zu fördern.

Die Wirksamkeit beider Phasen der Lehrer*innenausbildung auf die kognitiven Ressourcen und das Handeln der Lehrkräfte sowie die Wirkungen bei den Schüler*innen ist empirisch belegt (Schmidt et al., 2007; Kleickmann et al., 2013). So konnten bspw. Sorge, Keller, Petersen und Neumann (2018) eine signifikante Zunahme des Fachwissens und fachdidaktischen Wissens bei Lehramtsstudierenden des Faches Physik in einer Längsschnittstudie feststellen (vgl. Enkrott, Buschhüter, Spoden, Fischer & Borowski, 2020). Ebenso konnten Zusammenhänge zwischen dem professionellen Wissen angehender Physiklehrkräfte und der Qualität ihres Handelns im Unterricht, also ihrer Performanz, und dem Wissenserwerb der Schüler*innen gezeigt werden: für Microteaching bei Korneck, Krüber und Szogs (2017), für die Erklärfähigkeit bei Kulgemeyer und Riese (2018), für die Planungsfähigkeit bei Schröder, Vogelsang und Riese (2020) sowie für die Reflexionsfähigkeit bei Kempin, Kulgemeyer und Schecker (2020).

Einen Zuwachs der Planungsqualität in der zweiten Phase der Ausbildung stellten König, Buchholtz und Dohmen (2015) für verschiedene Fächer fest. Hasenkamp, Windt und Rumann (2016) berichten indes für den Sachunterricht von gemischten Ergebnissen, was sie auf variierende Rückmeldungen von Fachleiter*innen und Unterschiede im Zeitmanagement der Referendar*innen zurückführten.

Wie bereits in Abschnitt 2.2.2 thematisiert, muss die Handlungsrelevanz der erworbenen professionellen Kompetenz sowie die Validität ihrer Erhebung hinterfragt werden. Daher kann auf Grundlage der bisherigen Forschungslage nicht abschließend gefolgert werden, welches erworbene Wissen zu einem qualitätsvollen professionellen Handeln führt. Gleichwohl stellt die Lehrer*innenausbildung zweifelsohne die entscheidende Grundlage für den Erwerb professioneller Handlungskompetenz dar (vgl. Terhart, 2012) und somit auch für die Förderung evidenzbasierten Handelns. Mit dieser Intention wird das *Clearing House* der TUM *School of Education* betrieben, die Forschungswissen zu MINT-Fächern für Lehrer*innenbildner für den Einsatz in deren Lehrveranstaltungen in systematischen Reviews bündelt (Seidel et al., 2016). Um fachdidaktische Innovationen auf breiter Basis in die Schulpraxis zu überführen, ist diese Transferstrategie alleine allerdings zu langwierig, weil lediglich die heranwachsende Lehrkräftegeneration, aber keine Lehrkräfte im Schuldienst erreicht werden.

3.2. Fortbildungen

Eine weitere Transfermöglichkeit fachdidaktischer Innovation bilden Fortbildungsprogramme für Lehrkräfte. Das Lernen im Beruf wird von der Kultusministerkonferenz (KMK) im Sinne einer berufsbiographischen Lehrer*innenbildung gefördert (Terhart, 2000; 2012). Die Auswirkung solcher Fortbildungsmaßnahmen wird von Desimone (2009) als Wirkkette mit reziproken Zusammenhängen zwischen den Komponenten *professionelle Kompetenz*, *professionelles Handeln* und *Lernzuwachs der Schüler*innen* modelliert (vgl. Abb. 3.1).

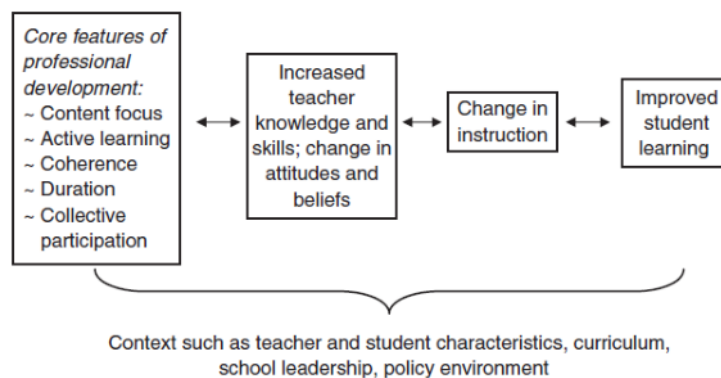


Abbildung 3.1.: Modell für die Wirkung von *professional development* auf Lehrkräfte und Schüler*innen (Desimone, 2009).

Die Annahme einer Wirkkette, welche Kausalzusammenhänge suggeriert, wird allerdings vielfach kritisiert. Es ist laut Lipowsky (2019, 144) kein „Selbstläufer“, Fortbildungsinhalte in die Unterrichtspraxis zu transferieren. Wie bereits erwähnt, kann nicht davon ausgegangen werden, dass eine Änderung der Überzeugungen notwendigerweise auch zu einer Veränderung der Unterrichtspraxis der jeweiligen Lehrperson führt (vgl. Abschnitt 2.2.3). Eine differenziertere Darstellung verschiedener Determinanten der Wirkung von Professionalisierungsmaßnahmen von Lehrkräften bildet das bereits vorgestellte Modell von Kunter et al. (2011; vgl. Lipowsky, 2019) (Abb. 2.1).

Es lassen sich aus dem bisherigen Forschungsstand verschiedene Gelingensfaktoren für effektive Fortbildungen ableiten. Demnach sollten Fortbildungen (1) inhaltsspezifisch sein, (2) über einen längeren Zeitraum andauern, (3) aktive Lerngelegenheiten beinhalten, (4) Kollaboration fördern, (5) Theorien und Modelle effektiven Unterrichtens vermitteln, (6) Beratung durch Expert*innen bereithalten sowie (7) Reflexions- und Feedbackphasen enthalten (Desimone, 2009; Lipowsky, 2010; 2019; Darling-Hammond, Hyler &

Gardner, 2017). Ebenso konnten Richter, Richter und Marx (2018) auch Hindernisfaktoren aus einer Befragung von mehr als 2400 Lehrkräften aus dem IQB-Ländervergleich rekonstruieren. Sie identifizierten die Faktoren *Desinteresse gegenüber Fortbildungen*, *Qualitätsmangel*, *familiäre Verpflichtungen*, *finanzielle Kosten* und *Unvereinbarkeit mit den Arbeitszeiten* als die zentralen Teilnahmebarrieren an Fortbildungen.

Die Wirkung von Fortbildungsprogrammen ist bereits in zahlreichen Studien empirisch untersucht worden, wobei jedoch die Befundlage, was die messbare Effektivität von Fortbildungsprogrammen betrifft, nach wie vor eher unbefriedigend ist (vgl. Zeichner, 2005; Kunter et al., 2011, Lipowsky, 2014; 2019; Spatz, Wilhelm, Hopf, Waltner & Wiesner, 2019). Es liegen zwar durchaus empirische Evidenzen vor, dass Fortbildungen das Potential haben, die professionelle Kompetenz bzw. die Performanz von Lehrkräften verbessern zu können (z.B. Lipowsky, 2014; 2019), allerdings sind diese Befunde nicht repräsentativ für Fortbildungen auf breiter Basis, sondern zeigen lediglich, was im Optimalfall möglich ist (Lipowsky, 2019).

Lipowsky (2010) unterscheidet in seinem Überblicksbeitrag insgesamt vier Ebenen der Wirksamkeit von Fortbildungen: (a) die Einschätzungen der teilnehmenden Lehrkräfte, (b) die Erhöhung der professionellen Kompetenz, (c) die Verbesserung der Unterrichtspraxis und (d) der Lernzuwachs der Schüler*innen. Es kann eine hohe Akzeptanz bei Lehrkräften erreicht werden, wenn Fortbildungen „close to the job“ (Lipowsky, 2010, 52) und an den Rahmencurricula orientiert sind (Lipowsky, 2010). Allerdings schätzen viele Lehrkräfte die von ihnen besuchten Fortbildungen als wenig effektiv für ihren eigenen Unterricht ein (Telekom-Stiftung, 2017). Weiterhin wirkt sich das Erleben von Autonomie positiv auf die Motivation der teilnehmenden Lehrkräfte aus (Lipowsky, 2010). Ein zu hoher Grad an Selbstbestimmung birgt jedoch die Gefahr der Überforderung sowie eines geringen Wissenszuwachses (vgl. Lipowsky, 2010). Es scheint allerdings keinen direkten Zusammenhang zwischen den Einschätzungen der Qualität einer Fortbildung durch die teilnehmenden Lehrkräfte und ihrem Wissenszuwachs zu geben. Im Gegensatz dazu konnte ein Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Relevanz und dem Wissenszuwachs festgestellt werden (Lipowsky, 2010). Vermutlich stellt die Akzeptanz der Lehrkräfte daher eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung für eine erfolgreiche Fortbildung dar (vgl. Lipowsky, 2010). Die Fortbildungsbereitschaft deutscher Lehrkräfte fällt allerdings insgesamt gering aus (Lipowsky, 2014), wobei eine repräsentative deutschlandweite Befragung von 500 MINT-Lehrkräften zumindest eine steigende Tendenz der Fortbildungsbereitschaft in den letzten zehn Jahren verzeichnet (Telekom-Stiftung, 2017).

Borko (2004) schreibt in einem Überblicksbeitrag, dass Fortbildungen sowohl das Fachwissen, das Verständnis für Lernschwierigkeiten der Schü-

ler*innen als auch die Unterrichtspraxis verbessern können. Kleickmann und Möller (2007) berichten ebenfalls aus einer Prä-Post-Untersuchung von 46 Lehrkräften, welche in eine Vergleichsgruppe mit einer 16tägigen Fortbildung zum Thema Schwimmen und Sinken und einer Kontrollgruppe mit lediglich schriftlichen Handreichungen eingeteilt wurde, dass die Schüler*innen der Vergleichsgruppe signifikant höhere Lernzuwächse als die Schüler*innen der Kontrollgruppe hatten. Weiterhin stellen Spatz et al. (2019) fest, dass Lehrkräfte, welche an einem halbtägigen Workshop teilnahmen, eine materialgestützte Unterrichtskonzeption zum zweidimensional-dynamischen Mechanikunterricht substanziell in ihrem Unterricht umsetzten, was sich in einer Verbesserung der Leistungen der Schüler*innen im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne Fortbildung widerspiegelte.

Aus den Selbsteinschätzungen einer Prä-Post-Befragung von 300 Lehrkräften aus den USA folgt, dass es im Mittel kaum zu Veränderungen der Unterrichtspraxis der befragten Lehrkräfte kommt, aber eine sehr große Varianz auf individueller Ebene herrscht (Porter, Garet, Desimone, Yoon & Birman, 2000). Lipowsky (2014) berichtet hingegen, dass kein direkter Einfluss von einer Fortbildungspartizipation auf die Leistungen der Schüler*innen festgestellt werden konnte (vgl. Fischler, 2003).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die partielle Wirksamkeit von Fortbildungen nachgewiesen werden kann, dass die Untersuchungen allerdings wegen geringer Stichprobenumfänge sowie aufgrund der freiwilligen Teilnahme zur Fortbildung und der daraus resultierenden verzerrten Stichprobe oftmals nur eingeschränkt generalisierbar sind (vgl. Lipowsky, 2014; 2019). Weitere Gründe für die inkonsistente Befundlage stellt die große Varianz der Gestaltung von Fortbildungsprogrammen dar. Denn solche Interventionen reichen von Workshops über kollaborative Zusammenarbeit bis hin zu Unterrichtsbegleitung und -reflexion. Dabei kann grob zwischen den Vermittlungsstrategien *top down* und *bottom up* unterschieden werden. Auch der Umfang solcher Maßnahmen variiert enorm, wobei die Effektivität von kurzzeitigen Fortbildungen vor dem Hintergrund langfristig aufgebauter Handlungsroutinen und stabiler Überzeugungen der Lehrkräfte infrage gestellt werden muss (vgl. van Driel, Beijaard & Verloop, 2001; Lipowsky, 2014; 2019). Es konnte jedoch kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Dauer einer Fortbildung und ihrer Wirksamkeit identifiziert werden – stattdessen wird ein Schwellenwert für eine messbare Wirksamkeit vermutet (Lipowsky, 2014; 2019).

Darüber hinaus unterscheiden sich verschiedene Fortbildungsangebote in der Qualität der Lernangebote und der Qualifikation der Fortbildungsleiter*innen (vgl. Kunter et al., 2011; Richter, Richter & Marx, 2018), der Einfluss dieser beiden Aspekte ist allerdings noch nicht hinreichend erforscht (Lipowsky, 2019). Weiterhin wird die Wahrnehmung, Nutzung und Verar-

beitung der Fortbildungsmaßnahmen von kognitiven, motivationalen, volitionalen und persönlichkeitsbezogenen Voraussetzungen der Lehrkräfte beeinflusst (vgl. Kunter et al., 2011; Lipowsky, 2014), sodass „die individuelle Nutzung von Lerngelegenheiten Aussagen über globale Wirksamkeiten bestimmter Programme kaum möglich macht“ (Kunter et al., 2011, 64).

Somit kann festgehalten werden, dass für die professionelle Weiterbildung von Lehrkräften

„die Qualität des Lernangebots genauso entscheidend wie die individuelle aktive und reflexive Nutzung dieser Angebote [ist], welche durch persönliche Merkmale der lernenden Person mitbestimmt wird. Die Lehrerbildungsforschung und die Forschung zur beruflichen Entwicklung/*professional development* haben sich nur selten explizit mit den zugrunde liegenden individuellen Lernprozessen beschäftigt und gehen auf individuelle Unterschiede in der Nutzung der Lehrangebote so gut wie nicht ein“ (Kunter et al., 2011, 62, Hervorhebungen übernommen).

Darüber hinaus stehen sich gegensätzliche Forderungen aus Theorie und Praxis gegenüber – Lehrkräfte fordern konkrete Anregungen bzw. Materialien für die Praxis für eine schnelle Verwertbarkeit der Fortbildungsinhalte, wohingegen aus Sicht der Forschung nachhaltige Lernprozesse bei den Lehrkräften anzustreben sind, welche sich allerdings nur durch langfristige Maßnahmen erreichen lassen und mitnichten immer konkrete Anregungen für die Unterrichtspraxis liefern (Lipowsky, 2014).

Da Fortbildungen folglich nur bei ausreichendem Umfang, intensiver Betreuung und Auseinandersetzung sowie konkreten Maßnahmen einen wirksamen Beitrag zur Professionalisierung von Lehrkräften leisten, haben sie wenig Breitenwirkung (Lipowsky, 2019),¹⁵ sodass sie sich als Transferstrategie für eine Implementierung fachdidaktischer Innovationen auf breiter Basis nicht eignen.

3.3. Bereitstellung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen

Eine weitere, bislang weniger erforschte Transferstrategie stellt das Selbststudium von Lehrkräften auf der Basis schriftlicher, evidenzbasierter Hand-

¹⁵„Um eine größere Breitenwirkung zu erzielen, sind erhebliche Kraftanstrengungen auch seitens der Bildungspolitik erforderlich, die strukturelle Veränderungen (z.B. Erhöhung des Anteils von Fortbildungsreihen, Beteiligung der Wissenschaft u.a.), eine bessere finanzielle Ausstattung des Fortbildungssystems, eine stärkere inhaltliche Kohärenz der Fortbildungsangebote sowie eine umfassendere Qualifizierung von Fortbildner(inne)n und Multiplikator(inne)n auf der Basis eines geteilten und evidenzbasierten Verständnisses von Fortbildungs- und Unterrichtsqualität einschließen“ (Lipowsky, 2019, 157).

reichungen dar (vgl. Shulman, 1987; Ball & Cohen, 1996; Gräsel, 2019).¹⁶ Die Bereitstellung von forschungsbasiert entwickelten und evaluierten Handreichungen bietet den Vorteil, dass diese niederschwellig und flächendeckend z.B. als *open educational resources* (OER) verbreitet werden können und zudem die Nutzung von Lehr-Lernmitteln in der Unterrichtsvorbereitung bereits im Berufsalltag von Lehrkräften verankert ist (Ball & Cohen, 1996; Remillard, 2005; Davis, Janssen & van Driel, 2016; Remillard & Kim, 2020a; Breuer, Vogelsang & Reinhold, 2020a). Dieser Vermittlungsweg ist ferner sinnvoll, da professionelles Wissen nicht durch eine rein theoretische Wissensvermittlung erlangt werden kann, sondern auch durch Erfahrung erworben werden muss, was Lehrkräften durch die Erprobung neuer Ideen im Unterricht möglich ist (Staub, 2001). Diese Transferstrategie ist nicht klar von Fortbildungsprogrammen abgrenzbar, weil Fortbildungen meistens unterstützende Materialien für Lehrkräfte beinhalten. Der entscheidende Unterschied besteht darin, dass in Fortbildungen die Rezeption und Nutzung der Materialien begleitet wird, wohingegen die Auseinandersetzung im Selbststudium niederschwelliger auf rein individueller Basis stattfindet. Allerdings etablieren sich viele fachdidaktisch innovative Unterrichtskonzeptionen nicht an Schulen (Altrichter & Wiesinger, 2004; Burkard, 2009; Wilhelm et al., 2012; Wilhelm & Hopf, 2014), sodass eine Transferproblematik fachdidaktischer Innovation an Schule vorliegt (vgl. Gräsel, 2019).

3.3.1. Definition materialgestützter Unterrichtskonzeptionen

Da sowohl im englischsprachigen als auch im deutschsprachigen Forschungsraum unterschiedliche Begriffsverwendungen zu schriftlichen Unterrichtsmaterialien für die Unterrichtsvorbereitung vorliegen, soll für den weiteren Verlauf eine Begriffsdefinition erarbeitet werden. Im Englischen dient der Ausdruck (*educative*) *curriculum materials* als Sammelbegriff für *textbooks*, *curricula*, *curriculum programs*, *curricular resources*, *curriculum guides* oder *teacher guides* (Remillard, 2005; Remillard & Kim, 2020b), wobei im Einzelnen nicht immer klar ist, was mit *curriculum materials* genau gemeint ist und welchen Verbindlichkeitsgrad sie beinhalten. Dies erschwert eine geeignete Übersetzung. Daher werden in der vorliegenden Arbeit unter dem Begriff *materialgestützte Unterrichtskonzeption* „für den Unterricht verfasste Lehr-, Lern- und Arbeitsmittel in Buch- oder Broschüreform und Loseblattsammlungen [verstanden], sofern sie einen systematischen Aufbau des Lernstoffs enthalten“ (Wiater, 2005, 43). Diese Definition soll auch digital vorliegende Unterrichtskonzeptionen einschließen.

¹⁶Auszüge des Unterkapitels 3.3 wurden bereits im Überblicksartikel von Breuer, Vogelsang und Reinhold (2020a) publiziert.

Solchen Materialien liegt demnach immer ein mehr oder weniger kohärentes Unterrichtskonzept zugrunde. Dieses zugrundeliegende Konzept kann den nutzenden Lehrkräften indirekt oder direkt über sogenannte *educative features* zur eigenen Weiterbildung dienen – bspw. wie Inhalte auf dem Niveau der Schüler*innen dargeboten werden können, welche möglichen didaktischen Zugänge sich zu einem Inhaltsbereich anbieten, wie mit Schülervorstellungen umgegangen werden kann etc. (vgl. Schneider & Krajcik, 2002). Materialgestützte Unterrichtskonzeptionen setzen sich daher in der Regel aus Materialien für die Schüler*innen wie Versuchsanleitungen, Texte oder Aufgaben und aus Materialien für Lehrkräfte wie fachlichen Hintergrundinformationen, Darstellungen der Sachstruktur oder Vorschlägen für Unterrichtssequenzen zusammen (vgl. Möller, 2010; Remillard & Kim, 2020b). Beispiele bilden Schulbücher mit Begleitmaterial, Handreichungen für Lehrkräfte oder Bildungsportale im Internet. Auch Lehrpläne fallen unter diese Begriffsdefinition, obwohl diese einen wesentlich höheren Verbindlichkeitsgrad als andere materialgestützte Unterrichtskonzeptionen aufweisen. Da der Begriff *curriculum* im Englischen jedoch wesentlich großzügiger als im Deutschen verwendet und die Verbindlichkeit der Umsetzung oftmals nicht explizit thematisiert wird, erscheint es sinnvoll, Lehrpläne bzw. *curricula* in die Begriffsdefinition einzuschließen.¹⁷

Der Begriff *materialgestützte Unterrichtskonzeption* wird dadurch zwar für teilweise recht unterschiedliche Materialien verwendet, gleichwohl liegen aber häufig Mischformen oder Materialpakete vor, sodass vielfach eine eindeutige Zuordnung ohnedies schwierig zu bewerkstelligen wäre (Niehaus, 2011). Diese weitgefaste Begriffsdefinition reduziert jedoch die Vergleichbarkeit von Untersuchungen, was bei der Kontrastierung verschiedener Studien im Folgenden Berücksichtigung findet.

Für den Transfer fachdidaktischer Innovation an Schule sollen nun innovative materialgestützte Unterrichtskonzeptionen betrachtet werden. Diese werden als empirisch fundiert bezeichnet, wenn empirische Evidenzen für die Weiterentwicklung der professionellen Kompetenz von Lehrkräften bzw. eine Verbesserung der Unterrichtsqualität, z.B. in Bezug auf einen Zuwachs an inhaltsbezogenen, prozessbezogenen oder affektiven Kompetenzen der Schüler*innen, vorliegen.

¹⁷Dennoch sei an dieser Stelle angemerkt, dass Lehrpläne sowohl auf Makroebene, als Vorgabe der Bildungspolitik, als auch auf Mikroebene, als Orientierungshilfe für Lehrkräfte, wirken und somit eine andere Ausgangsposition als andere Materialien besitzen.

3.3.2. Unterrichtsplanung als materialgeleiteter Prozess

Den entscheidenden Ausgangspunkt für den Transfer fachdidaktischer Innovationen durch das Selbststudium von Lehrkräften bildet der Prozess der Unterrichtsplanung.¹⁸ Obschon der Zusammenhang zwischen der professionellen Kompetenz von Lehrkräften und der Unterrichtsqualität noch nicht abschließend geklärt ist (vgl. Abschnitt 2.2.2), betonen theoretische Modellierungen u.a. den Stellenwert der Unterrichtsplanung bei der Transformation von Wissen in Können (Stender, 2014; Alonzo, Berry & Nilsson, 2019). Darüber hinaus belegen zahlreiche Untersuchungen, dass es sich bei der Unterrichtsplanung um einen materialgeleiteten Prozess handelt (Bromme, 1981; Merzyn, 1994; Bauer, 1995; Ball & Cohen, 1996; Seel, 1997; Haas, 1998; Kahlert, Hedtke & Schwier, 2000; Tebrügge, 2001; Remillard, 2005; Niehaus, 2011; Tänzer, 2011; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012; Gassmann, 2013; Breuer, Vogelsang & Reinhold, 2018b).

Aus einer Interviewstudie mit 39 Mathematiklehrkräften aus den USA folgt, dass Lehrkräfte vornehmlich auf Schulbücher bei der Unterrichtsvorbereitung zurückgreifen (Tarr, Chávez, Reys & Reys, 2006). Eine der befragten Lehrpersonen sagte sogar über das Schulbuch: „It is like my bible“ (Tarr et al., 2006, 199). Eine Analyse von Unterrichtsbeobachtungen und Interviews von zwölf Grundschullehrkräften verschiedener Fächer aus den USA zeigt, dass insbesondere die Langzeitplanung zu großen Teilen auf Grundlage des Schulbuches erfolgt (McCutcheon, 1980). Aus einer weiteren Untersuchung, in der 36 Lehrkräfte verschiedener Fächer interviewt und in der Unterrichtsplanung durch lautes Denken begleitet wurden, geht allerdings hervor, dass die Häufigkeit der Nutzung des Schulbuches in der Unterrichtsvorbereitung fächerspezifisch durchaus unterschiedlich ist (Haas, 1998). Demnach wird das Schulbuch von Mathematiklehrkräften im Planungsprozess deutlich häufiger verwendet, als das für die Fächer Erdkunde, Geschichte, Deutsch und Chemie der Fall ist.

Auch eine Interviewstudie mit 35 Lehrkräften der Fächer Mathematik, Deutsch, Chemie und Geschichte liefert Hinweise auf fachspezifische Unterschiede in der Schulbuchnutzung während der Unterrichtsplanung (Tebrügge, 2001). Demzufolge nutzen ebenfalls Mathematiklehrkräfte Schulbücher in der Unterrichtsvorbereitung besonders häufig. Insgesamt kann aus den Ergebnissen allerdings durchaus gefolgert werden, dass das Schulbuch für alle Fächer eine zentrale Ressource für die Unterrichtsplanung darstellt, wobei in der Regel auf mehrere Schulbücher zurückgegriffen wird (Tebrügge, 2001). Eine enge Orientierung am Schulbuch stellte auch Bromme (1981) bei einer Untersuchung der Unterrichtsplanung von 14 Mathematiklehrkräften

¹⁸Die Begriffe *Unterrichtsplanung* und *Unterrichtsvorbereitung* werden in der vorliegenden Arbeit synonym verwendet (anders z.B. Tänzer, 2011).

mittels lautem Denken fest (vgl. Neumann, 2015). Aus den Untersuchungsergebnissen geht hervor, dass die teilnehmenden Lehrkräfte das Schulbuch vor allem für den Aufbau der Unterrichtsreihe und als Aufgabensammlung verwenden (vgl. McCutcheon, 1980; Tebrügge, 2001).

Für das Fach Physik scheint das Schulbuch sogar während der Unterrichtsplanung von größerer Bedeutung zu sein als für den Einsatz im Unterricht, wie zwei Befragungen von 557 bzw. 112 Physiklehrkräften zeigen (Merzyn, 1994; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012). Härtig, Kauertz und Fischer (2012) stellen darüber hinaus fest, dass das Schulbuch insbesondere für die Suche nach Kontexten und als Grundlage für die Hausaufgabe verwendet wird. Auch bei der Analyse von den Interviews von zehn Lehramtsstudierenden, zehn Referendaren und elf Lehrkräften im Fach Physik wird deutlich, dass das Schulbuch eine zentrale Rolle im Planungsprozess einnimmt (Breuer, Vogelsang & Reinhold, 2018b). Demnach ist die Orientierung am Schulbuch bei Studierenden besonders stark ausgeprägt (vgl. Seel, 1997). Für die befragten Lehrkräfte spielte indes auch die eigene Materialsammlung eine wichtige Rolle im Planungsprozess (vgl. Bromme, 1981; Haas, 1998; Tebrügge, 2001).

Weiterhin wurden auch der Einsatz von Lehrplänen mittels einer schriftlichen Befragung von über 1000 Lehrkräften der Fächer Deutsch, Geschichte, Chemie und Mathematik analysiert (Vollstädt et al., 1999). Die befragten Lehrkräfte verwenden den Lehrplan primär für die langfristige Planung von Unterricht. Viele Lehrkräfte stehen dem Lehrplan jedoch eher skeptisch gegenüber. Auch Gassmann (2013) berichtet aus einer Interviewstudie mit 25 Lehramtsstudierenden der Fächer Deutsch, Mathematik, Sport und Englisch für verschiedene Schulformen, dass die befragten Studierenden Lehrpläne aufgrund fehlender Präzision als Handlungsanleitung für ungeeignet einschätzen. Diese Beobachtungen decken sich auch mit den Ergebnissen einer Interviewstudie mit 14 Mathematiklehrkräften von Bromme und Hömberg (1981), der zufolge Lehrpläne in der alltäglichen Unterrichtsplanung nur selten, sondern primär zu Beginn eines Schuljahres zur Festlegung der Unterrichtsinhalte herangezogen werden (vgl. Seel, 1997; Tebrügge, 2001). Tebrügge (2001) konstatiert, dass Lehrpläne keine entscheidende Rolle in der täglichen Unterrichtsplanung spielen und ihnen in erster Linie eine Legitimationsfunktion zukommt. Dies steht allerdings im Widerspruch zu den Befunden von Härtig, Kauertz und Fischer (2012), denen zufolge der Lehrplan nach dem Schulbuch am häufigsten in der Unterrichtsvorbereitung zurate gezogen wird. Der genaue Stellenwert des Lehrplans in der Unterrichtsplanung für den Physikunterricht ist daher nicht abschließend geklärt. Die Umstellung auf kompetenzorientierte Lehrpläne könnte überdies Änderungen im Nutzungsverhalten der Lehrkräfte verursacht haben.

Weiterhin scheinen Online-Quellen eine wichtige Anlaufstelle für Lehrkräfte in der Unterrichtsplanung darzustellen (Härtig, Kauertz & Fischer, 2012;

Breuer, Vogelsang & Reinhold, 2018b). Handreichungen oder Zeitschriften für Lehrkräfte werden hingegen seltener im Planungsprozess verwendet (vgl. Bromme, 1981; Tebrügge, 2001; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012; Breuer, Vogelsang & Reinhold, 2018b).

Es lässt sich zusammenfassen, dass Lehrkräfte während der Unterrichtsplanung häufig auf materialgestützte Unterrichtskonzeptionen zurückgreifen und diese als Orientierungshilfe für die Unterrichtsgestaltung verwenden. Tebrügge (2001) stellte fest, dass im Besonderen während einer Orientierungsphase im Planungsprozess, bei der ein Brainstorming erfolgt und das Thema der Stunde festgelegt wird, auf Materialien zurückgegriffen wird. Die am häufigsten verwendete Quelle bildet dabei das Schulbuch. Insofern kann die Strategie, Lehrkräfte mittels empirisch fundierter Unterrichtskonzeptionen während der Unterrichtsplanung zu unterstützen, als geeignet für den Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Schulpraxis bewertet werden. Allerdings bieten sich Lehrpläne oder Schulbücher aufgrund langer Planungszeiten nicht dafür an, aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse zu verbreiten – stattdessen verspricht die Nutzung des Internets das Potential des Innovationstransfers (vgl. Härtig, Kauertz & Fischer, 2012; Neumann, 2015).

Es ist allerdings bezeichnend, dass speziell für Lehrkräfte entwickelte Materialien wie Handreichungen oder (Fach-)Didaktikzeitschriften, welchen ein hohes weiterbildendes Potential zugesprochen werden kann, im Planungsprozess nur selten genutzt und von einigen Lehrkräften sogar als überflüssig bezeichnet werden (Tebrügge, 2001). Weiterhin kritisiert Bauer (1995), dass die enge Orientierung am Schulbuch leicht zu einer unreflektierten Übernahme von Inhalten führen kann, denn Schulbücher machen „es dem Lehrer sehr leicht, einmal ausgewählte Lehrverfahren auf Basis des verwendeten Schulbuches über lange Zeiträume hinweg unverändert beizubehalten“ (Bauer, 1995, 233).

3.3.3. Wirksamkeit der Nutzung evidenzbasierter, materialgestützter Unterrichtskonzeptionen

Verschiedene Interventionsstudien belegen, dass die Nutzung evidenzbasierter Unterrichtskonzeptionen durch Lehrkräfte die Qualität schulischen Unterrichts bzw. den Kompetenzerwerb der Schüler*innen verbessern kann. Hübinger (2008) berichtet, dass die Bereitstellung einer materialgestützten Unterrichtskonzeption zum experimentellen Arbeiten für die 5. und 6. Klasse zum Thema *Mein Körper – Meine Gesundheit* sich positiv auf die Leistungen der Schüler*innen auswirkt. Sie verglich die Leistungen von Schüler*innen aus 12 Klassen, welche nach dem Konzept unterrichtet wurden, mit den Leistungen von Schüler*innen aus 20 Klassen, welche traditionell nach Lehrplan unterrichtet wurden. Allerdings konnte Hübinger (2008) nur die Post-Tests

miteinander vergleichen, weshalb keine Aussage über mögliche bereits bestehende Leistungsunterschiede getroffen werden kann.

Weiterhin entwickelte Tobias (2010) im Rahmen eines Design-Based-Research-Projektes eine materialgestützte Unterrichtskonzeption zur Newtonschen Mechanik, deren Sachstruktur gängige Schülervorstellungen berücksichtigt. In einer Interventionsstudie unterrichteten zehn Physiklehrkräfte aus Deutschland das Thema zunächst nach ihrem gewohnten Vorgehen und in einem zweiten Durchlauf auf der Basis der innovativen Unterrichtskonzeption. Bei den Schüler*innen der Interventionsgruppe konnte mittels Prä-Post-Tests ein signifikant höherer Leistungszuwachs als bei den Schüler*innen der Kontrollgruppe diagnostiziert werden. Burde (2018) entwickelte ebenfalls mithilfe eines Design-Based-Research-Ansatzes eine materialgestützte Unterrichtskonzeption zur Elektrizitätslehre zur Verbesserung des Konzeptverständnisses. 14 Lehrkräfte unterrichteten 433 Schüler*innen nach dem neuen Konzept, wohingegen elf Lehrkräfte 357 Schüler*innen nach dem traditionellen Zugang unterrichteten. Ein Vergleich der Zuwächse der Prä-Post-Tests zeigte, dass die Schüler*innen der Interventionsgruppe deutlich besser abschnitten und weniger Schülervorstellungen aufwiesen.

In dem Projekt *epiSTEME* wurde der Einsatz einer materialgestützten Unterrichtskonzeption zur Unterstützung von dialogischen Gesprächen und argumentativen Ansätzen im Fach *Science* mittels Prä-Post-Tests der Schüler*innen von 16 Lehrkräften aus dem United Kingdom evaluiert (Howe et al., 2015). Weitere 13 Lehrkräfte unterrichteten nach dem herkömmlichen Zugang. Der Lernzuwachs der Interventionsgruppe fiel höher aus als in der Kontrollgruppe – allerdings wurden im Prätest Unterschiede zugunsten der Kontrollgruppe festgestellt, was ungünstige Ausgangsvoraussetzungen darstellt. Daher führten Larrain, Howe und Freire (2018) eine Replikationsstudie in Chile mit elf Lehrkräften in der Interventionsgruppe und sieben Lehrkräften in der Kontrollgruppe durch. Demnach erhöhte sich der Fachwissenszuwachs der Schüler*innen durch die Implementierung der materialgestützten Unterrichtskonzeption signifikant im Vergleich zum herkömmlichen Vorgehen. Der erhoffte Zuwachs der Argumentationsfähigkeit der Schüler*innen aus der Interventionsgruppe blieb jedoch aus.

In einer Interventionsstudie aus den USA wurden ferner sechs Lehrkräfte und 568 Schüler*innen mittels Unterrichtsvideographie, Lehrer*innenfragebögen und Prä-Post-Test der Schüler*innen bei der Implementierung einer materialgestützten *inquiry-based* Unterrichtskonzeption für das Fach Chemie untersucht (McNeill, 2009). Die Studie konnte zeigen, dass ein höherer Grad der Implementierung sich positiv im Lernzuwachs der Schüler*innen widerspiegelt. Eine Analyse der Unterrichtsqualität von neun Mathematiklehrkräften aus den USA, welche eine problemlöseorientierte Unterrichtskonzeption nutzten, zeigte zudem, dass die beobachteten Lehrkräfte auf der

Basis der Unterrichtskonzeption einen qualitativ hochwertigen und kognitiv aktivierenden Mathematikunterricht gestalten (Charalambous & Hill, 2012).

Arias et al. (2017) untersuchten das Nutzungsverhalten von Grundschullehrkräften einer evidenzbasierten *inquiry-based* Unterrichtskonzeption mit bzw. ohne *educative features* ($N = 3$ bzw. 2) im Fach *Science* mittels Unterrichtsbeobachtung, Interviews der Lehrkräfte und Prä-Post-Test der Schüler*innen. Sie stellten substantielle Unterschiede im Lernzuwachs der Schüler*innen, welche von Lehrkräften mit bzw. ohne *educative features* unterrichtet wurden, fest. Roseman et al. (2019) führten zwei aufeinander aufbauende Untersuchungen zu einem kohärenten Unterrichtskonzept mit interdisziplinären Vernetzungen zur Förderung eines tiefgehenden Konzeptverständnisses im Fach Biologie in den USA durch. In der ersten Studie untersuchten sie 248 Schüler*innen in der Interventionsgruppe und 104 Schüler*innen in der Kontrollgruppe mittels Prä-Post-Tests. Die Schüler*innen der Interventionsgruppe wiesen einen signifikant höheren Lernzuwachs mit mittlerem bis starkem Effekt im Vergleich zur Kontrollgruppe auf. In der zweiten Studie bestanden die Interventionsgruppe und Kontrollgruppe aus jeweils 19 Lehrkräften mit 1165 bzw. 1104 Schüler*innen. Die Lehrkräfte der Interventionsgruppe nahmen zusätzlich an einem Webinar zur Unterrichtskonzeption teil. Mithilfe von Prä-Post-Tests der Schüler*innen, *daily teacher logs*, Fragebögen der Lehrkräfte und Interviews der Lehrkräfte konnten erneut signifikante Unterschiede mit großem Effekt im Lernzuwachs der Schüler*innen festgestellt werden. Weiterhin gaben die Lehrkräfte der Interventionsstudie an, durch die materialgestützte Unterrichtskonzeption weiterbildend unterstützt worden zu sein und wesentlich schülerzentrierter als gewöhnlich unterrichtet zu haben.

Die Ergebnisse einer Untersuchung von 30 Lehrkräften des Faches *Science* aus den Ländern Israel, Spanien, Norwegen und Zypern indizieren, dass 25 der teilnehmenden Lehrkräfte schon nach nur einer gehaltenen Unterrichtsstunde auf der Grundlage einer fachdidaktisch innovativen Unterrichtskonzeption, welche *socioscientific issues* (SSI)¹⁹ beinhaltet, einen Wissenszuwachs im PCK zeigen (Bayram-Jacobs et al., 2019). Dies wurde mittels eines Prä-Post-Fragebogens mit offenen Antwortformaten zum PCK und einer beobachteten Unterrichtsstunde, die mithilfe eines validierten Beobachtungsbogens zur Erfassung des PCK-in-action ausgewertet wurde, erhoben. Ähnliche Befunde liefert die Studie von Kartamiharja und Sopandi (2020), die die Implementierung einer selbst entwickelten Unterrichtskonzeption im Fach Chemie in Indonesien untersuchten. 36 Novizen-Lehrkräfte unterrichteten nach der bereitgestellten Konzeption, wohingegen 36 erfahrene Lehrkräfte auf herkömmliche Weise unterrichteten. Es wurden Fragebögen zur Unterrichtskon-

¹⁹SSI sollen die Diskussion kontroverser sozialer Themen, wie bspw. Klimawandel bzw. Klimaschutz, fördern.

zeption, Analysen von Unterrichtsentwürfen und -beobachtungen sowie Prä-Post-Wissenstests durchgeführt. Weiterhin wurden jeweils 64 Schüler*innen aus der Interventions- und Kontrollgruppe mittels Prä-Post-Tests untersucht. Demnach konnte bei den Novizen-Lehrkräften ein größerer Wissenszuwachs sowie ein am Ende der Unterrichtsreihe höheres professionelles Wissen und Handeln mit mittlerer Effektstärke als bei den Lehrkräften der Kontrollgruppe (bei niedrigerem Vorwissen) nachgewiesen werden. Weiterhin erzielten die Schüler*innen aus der Interventionsgruppe einen signifikant höheren Lernzuwachs mit mittlerem Effekt.

Es liegen allerdings auch Hinweise vor, dass die Nutzung einer materialgestützten Unterrichtskonzeption nicht immer erfolgversprechend vonstattengeht (Gassmann, 2013; McNeill, Pimentel & Strauss, 2013; Boesen et al., 2014; Cervetti, Kulikowich & Bravo, 2015; Land, Tyminski & Drake, 2015), was im weiteren Verlauf noch detaillierter ausgeführt wird. Aufgrund der inkonsistenten Befundlage wird nun genauer betrachtet, inwieweit Lehrkräfte evidenzbasierte, materialgestützte Unterrichtskonzeptionen zur eigenen Weiterbildung verwenden und die enthaltene Innovation im Unterricht umsetzen.

In diesem Zusammenhang ist es sinnvoll, zwischen Interventionsstudien, die die Wirksamkeit fachdidaktischer Innovationen unter (quasi-)experimentellen Bedingungen untersuchen, und Implementationsstudien²⁰ zu unterscheiden, die untersuchen, unter welchen institutionellen, organisationalen und personalen Bedingungen Interventionen wirksam und nachhaltig in der Unterrichtspraxis verankert werden können (Schrader & Hasselhorn, 2020).

3.3.3.1. Determinanten der Nutzung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen

Da es sich sowohl bei der Forschung zur Unterrichtsplanung als auch bei der Implementationsforschung um bislang wenig erschlossene und wenig systematisch untersuchte Forschungsgebiete handelt (vgl. Schrader et al., 2020) sowie Hinweise auf fächerspezifische Unterschiede in der Materialnutzung vorliegen (Haas, 1998; Tebrügge, 2001; Niehaus, 2011), besteht ein Desiderat in der Konzeptualisierung der Nutzung fachdidaktisch innovativer Unterrichtskonzeptionen durch Lehrkräfte.

Eine erste Orientierung bieten Erkenntnisse aus der Implementationsforschung evidenzbasierter Innovationen im Gesundheitssystem. Nilsen (2015)

²⁰Im Bereich der Bildungsforschung werden die Begriffe *Implementation* bzw. *Implementierung* teilweise synonym verwendet (vgl. z.B. Altrichter & Wiesinger, 2004; Schrader et al., 2020). In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff *Implementierung* bevorzugt, wenn es um den Prozess der Umsetzung und nicht um das Resultat der Umsetzung geht. Da sich allerdings die Termini *Implementationsforschung* bzw. *Implementationsstudie* etabliert hat, werden sie auch in dieser Arbeit verwendet.

unterscheidet diesbezüglich Modellierungen des Implementationsprozesses, der Determinanten der Implementierung und der Evaluation der Implementierung. Damschroder et al. (2009) geben einen Überblick über Rahmenmodelle der Determinanten der Implementierung im Gesundheitssystem. In den vorgestellten Modellen wird zwischen dem Gegenstand und der Präsentation einer Innovation, Personenmerkmalen sowie Kontextfaktoren unterschieden (vgl. Michie et al., 2005; Nilsen, 2015). Sie fungieren als „Checklisten“ für die Identifikation von Bedingungsfaktoren des Transfers; sie bilden jedoch nicht die Wirkmechanismen zwischen verschiedenen Einflussfaktoren ab (vgl. Damschroder et al., 2009; Nilsen & Bernhardsson, 2019; Schrader et al., 2020).

Schrader et al. (2020) übertragen diese Modellierungen der Determinanten des Innovationstransfers aus dem Gesundheitswesen auf den Bildungsbereich. Daraus leiten sie ein Angebots-Nutzungs-Modell ab, welches Geling- und Hinderungsfaktoren der Implementierung evidenzbasierter Praxis aufzeigt (darauf wird im weiteren Verlauf noch konkreter Bezug genommen). Schrader et al. (2020) unterscheiden zwischen potentiell veränderbaren Einflussfaktoren der Implementierung (wie etwa dem professionellen Wissen der Lehrperson) und konstanten Größen (wie etwa der institutionellen Struktur). Darüber hinaus differenzieren Schrader et al. (2020) in Anlehnung an Nilsen und Bernhardsson (2019) bei den Kontextfaktoren der Implementierung analog zu den verschiedenen Handlungsebenen ebenfalls zwischen der Makroebene (z.B. Vorgaben der Bildungspolitik), der Mesoebene (z.B. institutionelle Rahmung) und der Mikroebene (z.B. Klassengröße). Trotz der Darstellung in einer Angebots-Nutzungs-Struktur beschreibt die Konzeptualisierung der Determinanten der Implementierung nach Schrader et al. (2020) keine konkreten Wirkzusammenhänge zwischen einzelnen Faktoren.

Das theoretisch fundierte *Cognitive-Affective Model of Conceptual Change* (Gregoire, 2003) bildet hingegen den Prozess der Auseinandersetzung von Lehrkräften mit einem neuen pädagogischen Ansatz ab (vgl. Abb. 3.2).²¹ Dabei wird insbesondere das Zusammenspiel verschiedener Personenmerkmale, die auch in anderen Modellierungen der Determinanten der Implementierung identifiziert wurden (Michie et al., 2005; Damschroder et al., 2009; Schrader et al., 2020), verdeutlicht.

Es existiert jedoch keine Modellierung, die explizit den Implementationsprozess innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen abbildet. Es liegen allerdings Modelle der Materialnutzung vor, die nicht explizit den Transfer evidenzbasierter Erkenntnisse zum Gegenstand haben. Bspw. modellieren Bismack et al. (2015) die Wirkung materialgestützter Unterrichts-

²¹Gregoire (2002, zitiert nach Gregoire, 2003) erprobte das Modell erfolgreich für angehende Lehrkräfte. Da diese Arbeit nicht veröffentlicht wurde, können leider keine weiteren Angaben zur Evaluation gemacht werden.

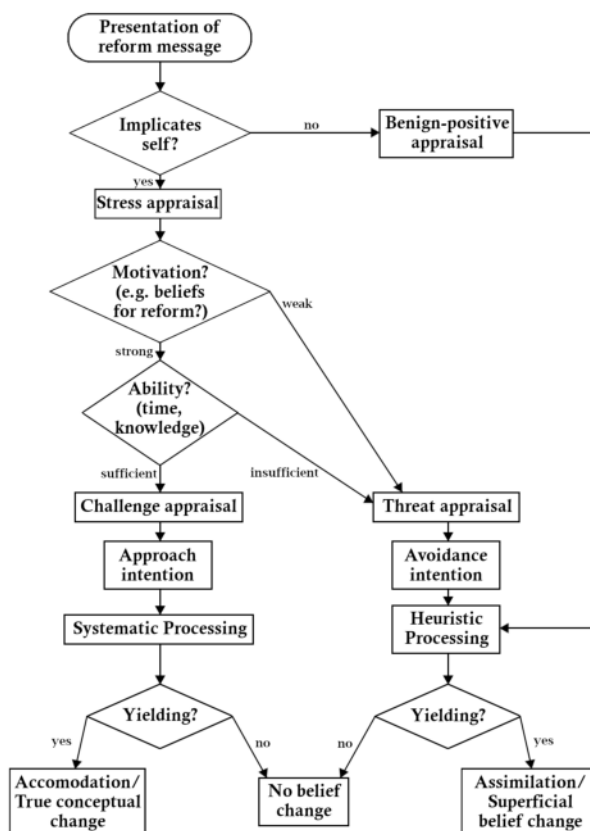


Abbildung 3.2.: Das *Cognitive-Affective Model of Conceptual Change* (Gregoire, 2003).

konzeptionen auf das Unterrichtsgeschehen als einfache Wirkkette (vgl. Abb. 3.3). Demnach bildet eine materialgestützte Unterrichtskonzeption im Sinne eines *written curriculum*²² die Grundlage für das von der Lehrkraft *intended curriculum*. Dieses wiederum wird im Unterricht in das *enacted curriculum* überführt, welches dann das *student learning* beeinflusst (Bismack et al., 2015; Orpwood, 2015).

Dieser Wirkheuristik zufolge ist anzunehmen, dass die Bereitstellung evidenzbasierter, innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen eine geeignete Möglichkeit für den Innovationstransfer bildet, wie auch bspw. Wiater (2003, 219) angibt:

²²Wie bereits in Abschnitt 3.3.1 angemerkt, wird der Begriff *curriculum* bzw. *curriculum materials* im Englischen wesentlich freier verwendet als der deutsche Begriff *Curriculum* bzw. *Lehrplan* (vgl. Westbury, Hopmann & Riquarts, 2015), weshalb die freie Übersetzung *materialgestützte Unterrichtskonzeption* angemessen erscheint.

„Das Schulbuch verhilft didaktischen Innovationen zum Durchbruch in der Praxis, nicht zuletzt auch durch die beigelegten Lehrerhandbücher, Kopier-
vorlagen und Arbeitshefte/-blätter.“

Bismack et al. (2015) merken allerdings an, dass je nach Interpretation und Transformation der Lehrperson trotz gleicher materialgestützter Unterrichtskonzeptionen bereits das *intended curriculum* für verschiedene Personen unterschiedlich ausfallen kann (vgl. Orpwood, 2015).

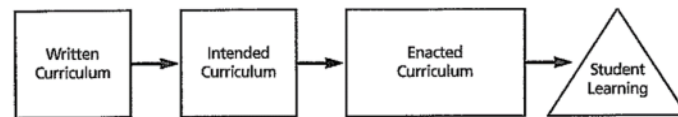


Abbildung 3.3.: Darstellung der Wirkung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen (Bismack et al., 2015).

Da in der Unterrichtsqualitätsforschung einfache Wirkheuristiken auf Unterricht nicht bestätigt werden konnten, weshalb differenziertere Angebots-Nutzungs-Modelle aufgestellt wurden, um die Komplexität der Wirkzusammenhänge abzubilden (vgl. Lipowsky, 2010; Kunter et al., 2011; Terhart, 2012), ist zu vermuten, dass auch die Wirksamkeit materialgestützter Unterrichtskonzeptionen durch Lehrkräfte durch ein komplexes Zusammenspiel aus Personenmerkmalen, materialspezifischen Eigenschaften und externen Faktoren beeinflusst wird (vgl. Davis, Janssen & van Driel, 2016).

Remillard (2005) leitet in einem Überblicksbeitrag aus verschiedenen empirischen Studien im Fach Mathematik ab, dass sich bei der Materialnutzung die Lehrperson und die materialgestützte Unterrichtskonzeption reziprok beeinflussen, indem die Lehrperson bspw. selektiv Elemente aus der Unterrichtskonzeption auswählt und auf ihren Unterricht anpasst und gleichzeitig die materialgestützte Unterrichtskonzeption das professionelle Wissen, die Selbstwirksamkeit sowie die Vorstellungen zum Lehren und Lernen der Lehrkraft beeinflussen kann (vgl. Abb. 3.4) (vgl. Ball & Cohen, 1996). Remillard (1999) führt als Beispiel für diese wechselseitige Beeinflussung das Lesen von Texten an, da die Wahrnehmung von Texten von den Überzeugungen der Lehrperson abhängt, aber die gelesenen Texte ebenfalls Einfluss auf die Überzeugungen der Lehrperson haben können. Somit stellt die Umsetzung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen einen (Re-)Konstruktionsprozess dar, da eine Implementierung immer mit einer Transformation und somit mit Selektionen, Fehl- oder Umdeutungen und Neu-Kontextuierungen einhergeht (Remillard & Kim, 2020a; Schrader et al., 2020).

Weiterhin wirkt sich die Nutzung einer Unterrichtskonzeption auf die Unterrichtsplanung und die Unterrichtspraxis der Lehrperson aus (Remillard,

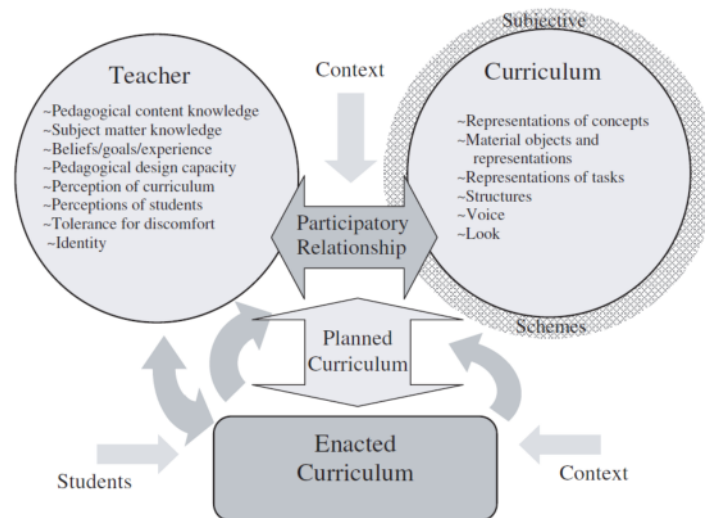


Abbildung 3.4.: Strukturelle Darstellung des Zusammenspiels von Personenmerkmalen und Materialeigenschaften bei der Gestaltung von Unterricht (Remillard, 2005).

2005). Das Unterrichtsgeschehen kann wiederum rückwirkend auf zukünftige Planungsentscheidungen der Lehrperson und damit auf deren Materialnutzungen Einfluss haben. Es kann allerdings nicht von einem direkten Einfluss des Unterrichts auf die materialgestützte Unterrichtskonzeption und umgekehrt ausgegangen werden, da die Lehrperson nicht „as a conduit for curriculum“, sondern vielmehr „as a user or designer“ (Remillard, 2005, 215) fungiert.

Remillard (2005) benennt damit in ihrer Modellierung der Materialnutzung ähnliche Determinanten, wie sie in der Implementationsforschung identifiziert wurden (Gregoire, 2003; Damschroder et al., 2009; Nilsen & Bernhardsson, 2019; Schrader et al., 2020). Allerdings liefert ihr Strukturmodell keine tiefgehende Beschreibung von Wirkmechanismen bei der Materialnutzung. Aufgrund der festgestellten Parallelen in Modellierungen des Innovationstransfers und der Materialnutzung im Allgemeinen erscheint es sinnvoll, diese in einer Modellierung des Implementationsprozesses innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen zusammenzuführen. Da innovative Unterrichtskonzeptionen in der Regel einen neuen Unterrichtsansatz als *reform message* enthalten, erscheint es plausibel, das *Cognitive-Affective Model of Conceptual Change* nach Gregoire (2003) auf die Verwendung innovativer Unterrichtskonzeptionen zu übertragen (vgl. Abb. 3.5). Es setzt die von Remillard (2005) ebenfalls identifizierten Einflussfaktoren auf Seiten der Lehrperson miteinander in Beziehung und beschreibt, auf welche Art und Weise sich bestimmte Personenfaktoren auf die Implementierung auswirken können.

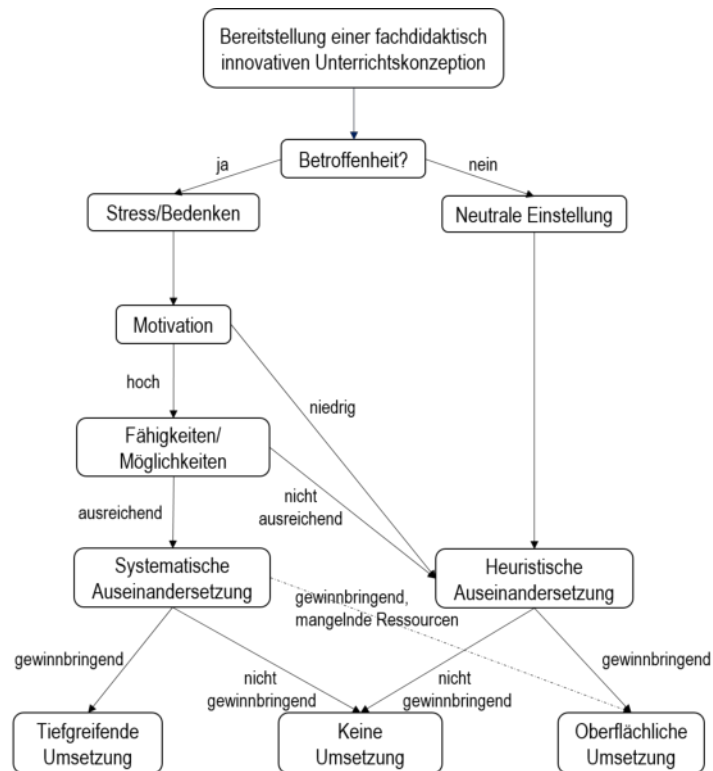


Abbildung 3.5.: Modell der Implementierung fachdidaktisch innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen (adaptiert nach Gregoire, 2003).

Bei dem adaptierten Modell richtet sich der Fokus auf die Umsetzung des Unterrichtskonzepts, also eine externe Größe, wohingegen im ursprünglichen Modell der *conceptual change* internal verortet wird. Weiterhin werden einige Zwischenschritte, welche keine Entscheidungsfrage darstellen, der Einfachheit halber weggelassen.

Demzufolge stellt sich bei der Konfrontation mit einer fachdidaktischen Innovation in Form einer materialgestützten Unterrichtskonzeption für Lehrkräfte zunächst die Frage, inwieweit sie sich davon betroffen fühlen. Der Bedarf von Lehrkräften kann etwa in Anlehnung an die *Stages of Concern* nach George, Hall und Stiegelbauer (2008) ausdifferenziert werden. Anschließend nennt Gregoire (2003) die Motivation als nächsten Einflussfaktor, da als Voraussetzung für einen *conceptual change* eine Unzufriedenheit mit dem bisherigen Vorgehen bestehen muss (vgl. Staub, 2001; Duit & Treagust, 2003). Allerdings kann trotz hoher Motivation aufgrund mangelnder Ressourcen wie Zeit, professionellem Wissen oder Kontextfaktoren wie schulinternen Absprachen oder den Erwartungen der Schüler*innen an Unterricht eine tiefgehende Umsetzung scheitern. Es bleibt bei einer heuristischen, ober-

flächlichen Auseinandersetzung mit der Unterrichtskonzeption, wobei deren Innovationspotential nicht vollständig erkannt wird.

Kann sich eine Lehrperson hingegen aufgrund der vorhandenen Ressourcen systematisch mit der Unterrichtskonzeption auseinandersetzen, stellt sich die Frage, ob sie die Innovation als gewinnbringend einstuft – nur so kann nach Gregoire (2003) eine wirkliche Veränderung der Handlungspraxis stattfinden (vgl. Davis, Janssen & van Driel, 2016). Zumeist kommt es jedoch nur zu einer oberflächlichen Assimilierung mit bestehenden Verhaltensweisen (vgl. Duit & Treagust, 2003). Weiterhin merken Duit und Treagust (2003) an, dass eine Veränderung der Einstellungen teilweise nicht reicht, um eine Veränderung der Handlung zu erzielen (vgl. Unterkapitel 2.2).

Da im adaptierten Modell der Schwerpunkt auf der Umsetzung der Unterrichtskonzeption liegt und damit eine externe Perspektive eingenommen wird, kann es dennoch internal auf Basis einer systematischen Auseinandersetzung zu einem *conceptual change*, aber aufgrund von Rahmenbedingungen lediglich zu einer oberflächlichen Umsetzung kommen. Daher wurde im Gegensatz zum ursprünglichen Modell von Gregoire (2003) ein zusätzlicher Pfeil von der systematischen Auseinandersetzung zur oberflächlichen Umsetzung ergänzt (gestrichelter Pfeil in Abb. 3.5).

In Bezug auf den Grad der Implementierung lässt sich weiterhin anmerken, dass ein Spannungsfeld zwischen der Umsetzungstreue zur Vermittlung der Innovation und einer notwendigen Adaption auf den Schulkontext besteht, was es schwierig macht zu definieren, was eine „erfolgreiche“ Implementierung ausmacht (Schrader et al., 2020). Weiterhin müssen die Perspektive der Lehrkräfte, welche auf Grundlage ihrer Möglichkeiten auf lokaler Ebene Schüler*innen fördern möchten, und die Perspektive der Materialentwickler*innen, deren Ziel die Umsetzung der entwickelten Unterrichtskonzeption ist, unterschieden werden (Cuban, 2013). Diese verschiedenen Perspektiven beeinflussen jeweils die Erwartungen an die materialgestützte Unterrichtskonzeption und die Nutzung dieser. Häufig wird allerdings in der Implementationsforschung aus Sicht der Forscher*innen und damit aus einer Top-Down-Perspektive berichtet, welche teilweise wenig reflektiert wird (vgl. Schrader et al., 2020).

Im Folgenden werden die empirische Erkenntnisse zu verschiedenen Charakteristika von Lehrkräften und Unterrichtskonzeptionen und deren Einfluss auf das Nutzungsverhalten in Anlehnung an das adaptierte Prozessmodell von Gregoire (2003) vorgestellt und zwar entlang der Gesichtspunkte (a) Präsentation der Innovation, (b) Bedarf auf Seiten der Lehrkräfte, (c) Motivation basierend auf den Überzeugungen und der Selbstwirksamkeit sowie (d) Fähigkeiten von Lehrkräften.

3.3.3.2. Gegenstand und Präsentation der Innovation

Ausgangspunkt der Nutzung evidenzbasierter, innovativer Unterrichtskonzeptionen stellen zunächst der Gegenstand der Innovation und ihre Präsentation in Form der bereitgestellten Materialien dar (vgl. Gregoire, 2003; Schrader et al., 2020). Einen zentralen Aspekt des Implementationsgegenstands bildet die Qualität und Belastbarkeit der empirischen Befunde hinsichtlich der Wirksamkeit einer Innovation. In Orientierung an das Modell evidenzorientierter Praxis aus der Medizin (Sackett, Rosenberg, Gray, Haynes & Richardson, 1996) konstatiert Gräsel (2019) eine Hierarchie verschiedener Formen von Evidenz in (a) systematische Reviews und Metaanalysen, (b) Einzelstudien wie randomisierte Kontrollstudien sowie (c) Einzelfallstudien, Editorials und Expert*innenerfahrungen (vgl. Bromme, Prenzel & Jäger, 2014). Die Übernahme der Evidenzhierarchie aus der Medizin auf die Bildungswissenschaften wird zwar auch kritisiert (Bromme, Prenzel & Jäger, 2014; Stark, 2017), aber grundsätzlich kann festgehalten werden, dass die Qualität und Belastbarkeit der empirischen Wirksamkeitsbelege unterschiedlich ausfallen kann. Daneben ist auch der Mehrwert bzw. die Relevanz einer Innovation für die Qualität des Innovationgegenstands entscheidend (existieren bspw. noch Alternativen für das verfolgte Ziel).

Weiterhin beinhaltet der Implementationsgegenstand die Vermittlungsstrategie der Innovation, welche *top down* oder *bottom up* erfolgen kann (Gräsel & Parchmann, 2004; Damschroder et al., 2009; Eylon & Hofstein, 2015). Es liegen empirische Hinweise vor, dass die alleinige Verfolgung eines Top-down-Ansatzes nicht zu einer erfolgreichen Implementierung führt (Vollstädt et al., 1999; Tebrügge, 2001; Gräsel & Parchmann, 2004). Dieser Gesichtspunkt wird im Zusammenhang mit der Akzeptanz der Lehrperson im weiteren Verlauf erneut aufgegriffen. Weitere Aspekte des Implementationsgegenstands stellen der Komplexitätsgrad der Innovation oder der benötigte Zeitaufwand für eine Umsetzung dar (Damschroder et al., 2009; Schrader et al., 2020).

Neben dem Gegenstand der Innovation ist auch ihre Präsentation als materialgestützte Unterrichtskonzeption²³ von entscheidender Bedeutung, da

²³Es gibt auch Projekte wie das Netzwerk *Evidence Informed Policy and Practice in Education in Europe* (EIPPEE) oder das Forum *Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung* (DIPF), die auf eine reine Informierung u.a. von Lehrkräften über empirischen Evidenzen abzielen, indem empirische Forschungsergebnisse in systematischen Reviews zusammengestellt werden. Dieses Vorgehen orientiert sich am Beispiel der Medizin, welche eine Vorreiterrolle in der evidenzbasierten Praxis innehat (z.B. Gräsel, 2019). Die Übertragung dieses Vorgehens auf das Schulsystem lässt jedoch außen vor, dass im Unterricht – anders als in der Medizin – Lehr-Lernmittel eine große Rolle spielen und daher über andere Formate der Darstellung und Vermittlung wissenschaftlicher Evidenz in die Praxis als in der Medizin nachgedacht werden sollte (vgl. Stark, 2017). Aus diesem Grund erscheint die Vermittlung handlungsnaher

die Implementierung von Unterrichtskonzeptionen einen Konstruktionsprozess darstellt, sodass die Rezeption der Materialien durch Lehrkräfte deren Nutzung beeinflusst (Remillard & Kim, 2020b). Daher werden im Folgenden Erkenntnisse zur Gestaltung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen berichtet.

Bei einem Überblicksbeitrag über ausgewählte Materialanalysen von Unterrichtskonzeptionen im Fach Mathematik konnten vier unterschiedliche Schwerpunktsetzungen der Materialanalysen festgestellt werden: die Fokussierung auf (1) einen spezifischen Inhaltsbereich, (2) die Gestaltung von Lernumgebungen, (3) Unterstützungsmaßnahmen für Lehrkräfte und (4) soziokulturelle Aspekte wie Gender (Remillard & Kim, 2020b). Aufgrund der Fokussierung der vorliegenden Arbeit auf die Unterstützung von Lehrkräften für eine evidenzbasierte Unterrichtspraxis werden exemplarisch Erkenntnisse von Materialanalysen aus dem dritten Schwerpunktbereich (Unterstützungsmaßnahmen für Lehrkräfte) vorgestellt.

Bei einer Nutzungsanalyse eines neu entwickelten schwedischen Lehrplans mittels Interviews, Unterrichtsbeobachtungen und Fragebogen von fast 200 Lehrkräften wurde festgestellt, dass die untersuchten Lehrkräfte oftmals nicht die intendierten Ziele des Lehrplans umsetzten (Boesen et al., 2014). Bergqvist und Bergqvist (2017) griffen diese Problematik in einer Folgestudie auf und führten eine Textanalyse des Lehrplans durch. Es stellte sich heraus, dass der Text insgesamt aus langen komplexen Sätzen besteht und die Ziele nur implizit vermittelt werden und somit nicht direkt nachvollziehbar sind.

Beyer, Delgado, Davis und Krajcik (2009) fanden außerdem bei einem Vergleich acht verschiedener amerikanischer Unterrichtskonzeptionen im Fach Biologie heraus, dass über die Hälfte der enthaltenen Elemente themenspezifische Unterstützungsmaßnahmen zur Einbettung naturwissenschaftlicher Phänomene oder zum Umgang mit Ideen der Schüler*innen thematisieren. Weiterhin liegen in den untersuchten Unterrichtskonzeptionen auch viele Unterstützungsangebote zum fachlichen Hintergrundwissen vor, aber nur wenige zu naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen, welche von den Forscher*innen jedoch auch als wichtig eingestuft werden. Zusammenfassend konstatieren Beyer et al. (2009), dass die Qualität der untersuchten Unterrichtskonzeptionen teilweise sehr unterschiedlich ausfällt – viele beinhalten lediglich bestimmte Maßnahmen, die nicht begründet werden, und es liegen insgesamt nur wenige Hinweise zum zugrundeliegenden Konzept vor, was sie für Lehrkräfte wenig transparent macht.

und „nutzungsorientierte[r]“ (Bromme, Prenzel & Jäger, 2014, 5) Interventionen erfolgversprechender, als die Übersetzung allgemeiner empirischer Befunde in konkrete Handlungsvorschläge den Lehrkräften zu überlassen (vgl. Bromme, Prenzel & Jäger, 2014; Rochnia & Trempler, 2019). Daher wird im Folgenden letzteres fokussiert.

In dem Projekt *Improving Curriculum Use for Better Teaching* (ICUBiT) (Kim & Remillard, 2020b; Remillard & Kim, 2020b) werden fünf Schulbücher für Mathematik in der Grundschule aus den USA kontrastiert. Es konnten substantielle Unterschiede im Umfang, in der Sachstruktur, im kognitiven Anspruch der Aufgaben und in den Unterstützungshilfen für Lehrkräfte identifiziert werden (Kim & Remillard, 2020a; 2020b). Ähnlich wie bei Beyer et al. (2009) konnte in dem ICUBiT-Projekt festgestellt werden, dass nur selten Begründungen für vorgeschlagene Vorgehensweisen oder Alternativen angegeben werden (Reinke, Remillard & Kim, 2020).

Auf Grundlage verschiedener Materialanalysen wurden weiterhin normative Heuristiken zur Gestaltung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen formuliert. Bspw. entwickelten Singer, Marx, Krajcik und Chambers (2000) die folgenden Prinzipien zur Gestaltung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen im Fach *Science*. (1) Unterrichtskonzeptionen sollen sich an einer kontextbasierten Leitfrage und (2) gemäß nationaler Bildungsstandards an einem akzeptierten didaktischen Ansatz orientieren. (3) Sie sollen zudem problemlöseorientiert aufgebaut sein, (4) die Kollaboration von Schüler*innen und Lehrkräften fördern, (5) Arbeitsergebnisse von Schüler*innen als Reflexionsgegenstand nutzen und (6) Hilfestellungen zur Unterstützung des Lernprozesses der Schüler*innen beinhalten.

Auch Desimone (2002) schlägt auf der Basis der bisherigen Forschung Bedingungen für die Implementierung von Bildungsreformen vor, dabei bezieht sie sich allerdings nicht konkret auf Unterrichtskonzeptionen. Demnach erhöht sich der Grad der Implementierung, (1) je spezifischer eine Reform ist (vgl. O'Donnell, 2008). Dies kann laut Desimone (2002) durch konkrete praktische Beispiele und unterstützende Materialien erreicht werden (vgl. Singer et al., 2000). (2) Weiterhin gelingt eine effizientere Implementierung, wenn die Reform konsistent mit den Vorgaben nationaler Bildungsstandards (vgl. Singer et al., 2000) und dem Profil der jeweiligen Schule ist. Darüber hinaus nennt sie (3) die Autorität der Autor*innen, (4) die Durchsetzungskraft der Innovation und (5) die personelle Stabilität an der jeweiligen Schule als Gelingensbedingungen. Die letzten drei Bedingungen können allerdings eher als Kontextfaktoren denn als Gestaltungsmerkmale eingestuft werden.

Davis und Krajcik (2005) formulieren, ebenfalls empirisch fundiert, neun Gestaltungspostulate für materialgestützten Unterrichtskonzeptionen in Bezug auf das Fach *Science*, die explizit auf eine professionelle Weiterbildung der nutzenden Lehrkräfte abzielen. Demnach sollten solche Materialien Unterstützungsmaßnahmen für die Lehrperson für (1) die Behandlung naturwissenschaftlicher Phänomene, (2) den Einsatz naturwissenschaftlicher Repräsentationsformen und (3) den Umgang mit Schülervorstellungen beinhalten. Weiterhin fordern Davis und Krajcik (2005) Handlungsempfehlungen für (4) die Identifikation geeigneter Leitfragen für den Unterricht, (5)

die Aufnahme und Analyse von Messreihen, (6) die Förderung der Entwicklung von Forschungsideen durch die Schüler*innen, (7) die konstruktive Unterstützung fundierter Erklärversuche der Schüler*innen und (8) die naturwissenschaftliche Kommunikation. Darüber hinaus plädieren sie für (9) eine Bereitstellung fachwissenschaftlicher Hintergrundinformationen zu den behandelten Themengebieten.

Weiterhin empfehlen Schneider und Krajcik (2002), weiterbildende Elemente in materialgestützten Unterrichtskonzeptionen als angeleitete Unterstützungsangebote in Form sogenannter *educative features* einzubinden (vgl. Schrader et al., 2020). Dies könnte bspw. mittels Fallbeispiele umgesetzt werden (vgl. Fischler, 2008). Van Dijk und Kattmann (2007) appellieren, den von fachdidaktisch innovativen Unterrichtskonzeptionen transportierten konstruktivistischen Lernansatz für Schüler*innen (Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek, 1997) auch auf die professionelle Weiterbildung von Lehrkräften zu übertragen (vgl. Fischler & Schröder, 2003). Daher raten sie, nicht nur die Lernumgebung für die Schüler*innen, sondern auch die Lerngelegenheiten für Lehrkräfte im Sinne einer didaktischen Rekonstruktion zu entwickeln (vgl. Abb. 3.6).

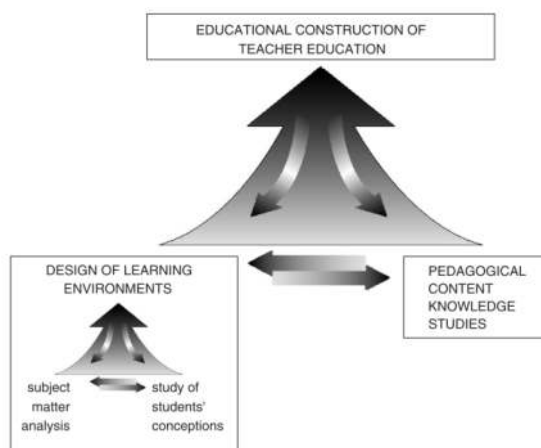


Abbildung 3.6.: Modell zur didaktischen Rekonstruktion der Lehrer*innenbildung (van Dijk & Kattmann, 2007).

Ähnlich argumentiert Brown (2012), indem er vorschlägt aufgrund individueller Unterschiede der Materialnutzung, Unterrichtskonzeptionen variabler zu gestalten: „Rather than designing curriculum materials as one-size-fits-all-documents, designers could endeavor to support different modes of use by teachers“ (Brown, 2012, 31). Allerdings wird dieser Vorschlag bislang nur wenig umgesetzt. Weiterhin diskutiert er, „that units are either too context-specific to be usable by others or so flexible that they amount to little more than a generic set of resources“ (Brown, 2012, 32; vgl. Fishman & Krajcik, 2003).

Die vorgestellten Gestaltungsprinzipien unterscheiden sich zwar in ihrer Schwerpunktsetzung und Differenziertheit, sind aber gut vereinbar. Akzeptanzbefragungen von Lehrkräften bzw. Bildungsadministrator*innen wie die Fragebogenstudie von Haenisch (1994) ($N = 800$) oder die Interviewstudie von Demuth (2008) ($N = 27$) bestätigen diese Prinzipien. Zudem stehen sie in Einklang mit Vorschlägen aus der Fortbildungsforschung (vgl. Unterkapitel 3.2), sodass diese Gestaltungsprinzipien als bedeutsam für eine gelingende Weiterentwicklung der professionellen Kompetenz von Lehrkräften mittels innovativer Unterrichtskonzeptionen eingestuft werden können.

Solche Design-Heuristiken werden allerdings auch kritisiert, da bislang nicht abschließend geklärt ist, welches fachdidaktische Wissen für das Handeln im Unterricht wichtig ist (vgl. Abschnitt 2.2.2). Eine Lehrbuchanalyse dreier etablierter deutscher Lehrbücher zur Physikdidaktik ergab, dass keines der drei Bücher eine zufriedenstellende Verknüpfung zwischen Theorie und Praxis erreichen konnte (Fischler, 2008). Darüber hinaus wird in den Lehrbüchern nicht immer ausreichend transparent gemacht, aus welchem Grund bestimmte Positionen bezogen oder bestimmte Inhalte fokussiert bzw. außen vor gelassen werden (Fischler, 2008). Es kann davon ausgegangen werden, dass materialgestützten Unterrichtskonzeptionen ein sogenanntes *hidden curriculum* zugrundeliegt, welches implizit und möglicherweise sogar von den Autor*innen unbewusst bestimmte Inhalte oder Überzeugungen transportiert (vgl. Orpwood, 2015).

Die Ergebnisse einer mündlichen Befragung von sechs Materialentwickler*innen dreier unterschiedlicher amerikanischer Mathematikschulbüchern für die Grundschule indizieren, dass genau das Erreichen der Transparenz der intendierten Ziele eine zentrale Herausforderung für Materialentwickler*innen darstellt (Kim & Remillard, 2020a). Die Materialentwickler*innen müssen demnach zwischen ausreichenden Hilfestellungen für Lehrkräfte einerseits und nicht zu umfangreichen Zusatzinformationen andererseits abwägen. Ferner registrieren die befragten Materialentwickler*innen ein Spannungsfeld zwischen dem von ihnen festgestellten Bedarf der Lehrkräfte und dem von den Lehrkräften geäußerten Bedarf (Kim & Remillard, 2020a).²⁴

Zusätzlich sollte beachtet werden, dass zwischen kommerziellen und nicht-kommerziellen Unterrichtskonzeptionen unterschieden werden muss, da die definierten Erfolgskriterien durchaus unterschiedlich sein können – bspw. müssen hohe Absatzzahlen nicht notwendigerweise mit einer hohen fachdidaktischen Qualität einhergehen.

²⁴Kunter et al. (2011) schreiben, dass die Qualität von Lerngelegenheiten wichtig sei. Dies wirft die Frage auf, wer die Qualität einer Lerngelegenheit eigentlich adäquat beurteilen kann, da es offensichtlich unterschiedliche Interessensgruppen gibt (vgl. Schrader & Hasselborn, 2020).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass verschiedene aus Materialanalysen abgeleitete Design-Heuristiken für materialgestützte Unterrichtskonzeptionen existieren, welche in Befragungen von Lehrkräften in weiten Teilen empirisch bestätigt werden konnten. Diese Prinzipien sind allerdings wenig konkret und lassen einen weiten Interpretationsspielraum für die daraus resultierenden Operationalisierungen. Es besteht also sowohl in der Untersuchung der Gestaltung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen bspw. mittels Vergleichsstudien als auch in der Grundlagenforschung weiterer Forschungsbedarf, damit fundierte und konkrete Design-Prinzipien formuliert werden können.

3.3.3.3. Bedarf auf Seiten der Lehrkräfte

Die Grundvoraussetzung für die Implementierung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen bildet nach dem adaptierten Modell von Gregoire (2003) der Bedarf der Lehrkräfte. Daher hängt die Nutzung maßgeblich davon ab, ob bei der Materialentwicklung die Erwartungen von Lehrkräften berücksichtigt wurden.

Eine schriftliche Befragung von 47 angehenden Grundschullehrkräften in den USA liefert Hinweise dafür, dass angehende Lehrkräfte Texte aus *educative features* in der Unterrichtsplanung vor allem oberflächlich lesen und sich wenig analytisch mit dem Material auseinandersetzen – sie erkennen das weiterbildende Potential der *educative features* nicht (Land, Tyminski & Drake, 2015). Siedel und Stylianides (2018) stellten in einer Interviewstudie mit 36 Mathematiklehrkräften in Großbritannien fest, dass die befragten Lehrkräfte nur selten auf Unterrichtskonzeptionen zurückgreifen, welche wie von Davis und Krajcik (2005) empfohlen Unterstützungsangebote zur Weiterentwicklung des PCK der Lehrkräfte beinhalten. Davis, Palincsar, Smith, Arias und Kademian (2017) entwickelten und evaluierten mit einem Design-Based-Research-Ansatz eine materialgestützte Unterrichtskonzeption für das Fach *Science* nach den Entwicklungspostulaten von Davis und Krajcik (2005) und berichten im Gegensatz zu Siedel und Stylianides (2018), dass die zusätzlichen Unterstützungsangebote zum PCK nach ihrer kategorialen Auswertung der Unterrichtsbeobachtungen von 50 Lehrkräften insgesamt häufig genutzt werden. Zudem greifen ihren Beobachtungen zufolge die Lehrkräfte primär auf konkrete Maßnahmen für den Unterricht und weniger auf allgemeine Hinweise zurück, welche losgelöst von spezifischen Unterrichtssituationen vorge schlagen werden.

Auch aus einer Interviewstudie mit 39 Mathematiklehrkräften in den USA geht hervor, dass die befragten Lehrkräfte vornehmlich auf Schulbücher bei der Unterrichtsvorbereitung zurückgreifen, weil diese konkrete Vorschläge für den Unterricht liefern (Tarr et al., 2006). Matic und Glasnovic Gracin

(2020) konstatieren ausgehend von Interviews und Unterrichtsbeobachtungen zweier kroatischer Mathematiklehrkräfte, dass das Schulbuch die Basis für die Unterrichtsplanung bildet und zur Aufgabensuche konsultiert wird. Der dazugehörige *teacher guide* dient lediglich als zusätzliche Quelle für Aktivitäten und Ideen. Dies deckt sich ebenfalls mit Befunden aus drei Befragungen von Physiklehrkräften in Deutschland, denen zufolge Lehrkräfte überwiegend auf Elemente für den Einsatz im Unterricht, wie Aufgaben oder Abbildungen aus Schulbüchern, zurückgreifen (Merzyn, 1994; Starauschek, 2003; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012). Möller (2010) berichtet ebenfalls, dass Grundschullehrkräfte für den Sachunterricht organisatorische Unterstützung sowie konkrete Hinweise zur Unterrichtsgestaltung, insbesondere Vorschläge möglicher Unterrichtsverläufe, schätzen. Bauer (1995) schreibt ferner in einem Überblicksbeitrag, dass weitere Vorteile für Lehrkräfte bei der Schulbuchnutzung die Lehrplankongruenz aufgrund der staatlichen Zulassung, die Zeitersparnis aufgrund der Vorstrukturierung des Unterrichts und die Verfügbarkeit (alle Schüler*innen verfügen über ein Exemplar) sind.

Bei einer qualitativen Analyse von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen und Forendiskussionen zu den Fächern Biologie und Chemie auf der Internetplattform *4teachers* stellte sich zudem heraus, dass Lehrkräfte dort primär Unterrichtsentwürfe mit „explizit für den Unterricht entworfene[n] Formate[n]“ (Vorndran, Keutz, Olenik, Raimbekova & Rittbergera, 2014, 97) wie Arbeitsblätter oder Tafelbildern hochladen. Dies deuten die Autor*innen als Indiz für den wahrgenommenen Bedarf der Lehrkräfte.

Schneider und Krajcik (2002) analysierten die Nutzung einer materialgestützten Unterrichtskonzeption von drei Lehrkräften in den USA, welche für eine Unterrichtseinheit zum Thema Kinematik im Fach *Science* basierend auf einer Empfehlung der *National Science Foundation* entwickelt wurde und sowohl kontextorientiert als auch *inquiry based* aufgebaut ist (vgl. Blumenfeld, Fishman, Krajcik, Marx & Soloway, 2000; Singer et al., 2000). Sie stellten ebenfalls fest, dass die untersuchten Lehrkräfte überwiegend die Unterrichtskonzeption für die Vorbereitung einzelner Stunden verwenden und kaum allgemeine didaktische Hinweise für eine komplette Unterrichtsreihe übernehmen. Die teilnehmenden Lehrkräfte finden insbesondere mögliche Lösungsansätze oder typische Antworten von Schüler*innen hilfreich (vgl. Davis et al., 2017). Darüber hinaus loben die Lehrkräfte die enthaltenen fachlichen Hintergrundinformationen, weil diese besser verständlich als in Physikbüchern seien. Auch Kleickmann et al. (2016) berichten aus einer Interventionsstudie einer materialgestützten Unterrichtskonzeption zum Schwimmen und Sinken im Sachunterricht mit 73 Lehrkräften, dass insbesondere für fachlich anspruchsvolle Themen die fachliche Vorbereitung von Lehrkräften durch die Bereitstellung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen unterstützt werden kann (vgl. Seel, 1997). Im Gegensatz dazu ste-

hen die Erkenntnisse von Härtig, Kauertz und Fischer (2012), nach denen Physikschulbücher eher weniger zur Klärung fachlicher Fragen in der Unterrichtsplanung genutzt werden. Eventuell liegen hier Unterschiede zwischen Lehrkräften vor, welche als Spezialisten für ein Fach und welche als Generalisten für den naturwissenschaftlichen Unterricht ausgebildet wurden.

Lehrkräfte scheinen materialgestützte Unterrichtskonzeptionen häufig als „Steinbruch“ und weniger als kohärentes Konzept zu verwenden (Vollstädt et al., 1999; Schneider & Krajcik, 2002; Beerenwinkel & Gräsel, 2005). Bei der Analyse der Materialnutzung während der Unterrichtsvorbereitung von 15 Grundschullehrkräften wurde deutlich (Kahlert, Hedtke & Schwier, 2000, 355):

„Gesucht wird dabei [bei der Unterrichtsvorbereitung] nicht nach fertigen Unterrichtskonzepten, sondern nach Materialien, die in eigene Konzepte mit möglichst geringem Aufwand integriert werden können. Somit zeigen die Lehrerinnen und Lehrer das typische Merkmal Autonomie anstrebender Experten: geschätzt werden Hilfen für die Verwirklichung eigener Ideen, aber keine Einführung nach den Vorgaben anderer.“

Ähnliche Schlussfolgerungen zieht Reinhold (1997) aus den Fallanalysen von sechs Physiklehrkräften zur Umsetzung einer materialgestützten Unterrichtskonzeption (PING). Demzufolge wünschen sich Lehrkräfte editierbare Dokumente als Bestandteil von Materialpaketen. Für die untersuchten Lehrkräfte scheint nicht die eigene Weiterbildung, sondern eine effiziente Materialnutzung in der Unterrichtsvorbereitung im Vordergrund zu stehen:

„Nicht die allgemeinen pädagogischen Zielvorstellungen oder konkrete Unterrichtsziele standen am Anfang, sondern eine eingehende Durchsicht und Analyse der vorgeschlagenen Schüleraktivitäten. Dabei wurde geprüft, ob und in welchem Umfang sich die einzelnen Vorschläge für die jeweilige Klasse eignen“ (Reinhold, 1997, 299).

Schneider und Krajcik (2002) beobachteten hingegen, wie die untersuchten Lehrkräfte zusätzliche Informationen zum Umgang mit Schülervorstellungen nutzen. Eine Lehrperson gibt an, erst mithilfe dieser Zusatzinformationen die fachlich korrekten Vorstellungen nachvollzogen zu haben. Gleichwohl stellte sich heraus, dass die teilnehmenden Lehrkräfte didaktische Überlegungen zum Aufbau des zugrundeliegenden Konzepts größtenteils nicht lesen (Schneider & Krajcik, 2002).

Aus Interviews mit 45 Physiklehrkräften zur Umsetzung des IPN Curriculums Physik resultiert, dass die Erscheinung des Curriculums zum Zeitpunkt beginnender Schulversuche im Zuge der Einführung von Gesamtschulen und der Orientierungsphase auf Anlass der KMK günstig war (Duit, Riquarts & Westphal, 1976). Das IPN Curriculum konnte somit eine Marktlücke für

die beginnenden Schulversuche füllen und zudem eine Orientierungshilfe für die zu dem Zeitpunkt vielfach fachfremd eingesetzten Lehrkräfte für den Physikunterricht bieten. Aus diesen Gründen kam es nach Einschätzung der befragten Lehrkräfte zu einer intensiven Materialnutzung unter nur kleinen vorgenommenen Modifikationen (Duit, Riquarts & Westphal, 1976).

Die Kritik von Lehrkräften an materialgestützten Unterrichtskonzeptionen beinhaltet oft naheliegende und pragmatische Aspekte wie eine unübersichtliche Gestaltung, zu umfangreiche oder wenig präzise formulierte Texte sowie die mangelnde Verfügbarkeit bzw. die entstehenden finanziellen Kosten (Merzyn, 1994; Vollstädt et al., 1999; Neumann, 2015). Eine Bedarfsanalyse von 720 Lehrkräften verschiedener Fächer und Schulformen deutschlandweit ergab zudem, dass Lehrkräfte zwar häufig im Internet nach Materialien recherchieren, dass aber ein Mangel an vertrauenswürdigen Quellen herrscht (Neumann, 2015). Weiterhin folgt aus einer schriftlichen Befragung von über 100 Physiklehrkräften, dass ihnen didaktische Aufbereitungen zu aktuellen Themen der Physik fehlen, wobei ungeklärt bleibt, ob es sich um einen wirklichen Mangel oder um Unkenntnis über das Vorhandensein von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen handelt (Haupt & Nordmeier, 2014).

Die Ergebnisse einer Interviewstudie aus den USA mit 50 Lehrkräften im ersten bzw. zweiten Berufsjahr indizieren ebenfalls, dass die befragten Lehrkräfte Schwierigkeiten haben, geeignete materialgestützte Unterrichtskonzeptionen für die Unterrichtsvorbereitung zu finden, weshalb sie viel im Internet recherchieren (Kauffman, Johnson, Kardos, Liu & Peske, 2002). Eine Längsschnittstudie dreier Mathematikgrundschullehrkräfte über die ersten drei Berufsjahre mittels Interviews, Planungstagebüchern und schriftlichen Unterrichtsreflexionen zeigt, dass Berufsanfänger*innen viel Zeit für die Unterrichtsvorbereitung investieren und auf viele unterschiedliche materialgestützte Unterrichtskonzeptionen zurückgreifen, wobei sich die Lehrkräfte hauptsächlich an der in der jeweiligen Schule etablierten Unterrichtskonzeption orientieren (Forbes & Davis, 2007).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bei Lehrkräften insbesondere ein Bedarf nach konkreten Vorschlägen für den Unterricht besteht. Aus diesem Grund setzen Lehrkräfte selten ein gesamtes Unterrichtskonzept um, sondern greifen vielmehr selektiv einzelne Elemente heraus. Lehrkräfte scheinen materialgestützte Unterrichtskonzeptionen vor allem pragmatisch, effizient und selten weiterbildend zu verwenden, wobei zu letzterem inkonsistente Befunde vorliegen. Dieses Verhalten könnte zum einen auf eine mangelnde Qualität der bereitgestellten Unterrichtskonzeptionen zurückzuführen sein, da es sich bei den Interventionsstudien häufig um selbst entwickelte Materialien handelt, denen eine abschließende Untersuchung der Qualität bzw. Wirksamkeit fehlt. Es könnte sich zum anderen jedoch auch um ein allgemeines Nutzungsverhalten der Lehrkräfte handeln, welches mit einer hohen

zeitlichen Auslastung und einem daraus resultierenden zeiteffizienten Vorgehen zu erklären ist (vgl. Lipowsky, 2014). Dies kann auf Basis der Befunde nicht eindeutig entschieden werden.

3.3.3.4. Motivation basierend auf den Überzeugungen und der Selbstwirksamkeit

Aus dem bisherigen Forschungsstand lässt sich ableiten, dass sich sowohl die Überzeugungen als auch die Selbstwirksamkeitserwartungen auf das professionelle Handeln einer Lehrperson auswirken (vgl. Abschnitt 2.2.3 bzw. 2.2.4). Das Prozessmodell von Gregoire (2003) impliziert ebenfalls, dass neben dem wahrgenommenen Bedarf einer Lehrperson ihre Motivation basierend auf ihrer Selbstwirksamkeit bzw. ihren Überzeugungen die Implementierung einer innovativen materialgestützten Unterrichtskonzeption entscheidend beeinflusst.

Diese Annahme bestätigt sich auch empirisch, wie verschiedene Überblicksbeiträge berichten (van Driel, Beijaard & Verloop, 2001; Jones & Carter, 2010; Eylon & Hofstein, 2015). Demnach akzeptieren Lehrkräfte innovative materialgestützte Unterrichtskonzeptionen eher, wenn diese mit ihren Überzeugungen und Unterrichtszielen konform sind (Jones & Carter, 2010; Eylon & Hofstein, 2015) oder im Sinne einer Ist-Soll-Abweichung, wenn sie die Innovation als eine geeignete Lösung für ein bestimmtes Problem ansehen (Eylon & Hofstein, 2015). Jones und Carter (2010, 1082) berichten weiter, dass

„Peacock and Gates (2000) examined newly qualified United Kingdom teachers’ perceptions of textbook selection and use. They found that these teachers did not base their decisions about textbook use on their students’ needs but instead made decisions based on their beliefs about the demands that would be placed on them as teachers.“

Neben diesen Überblicksbeiträgen liegen auch zahlreiche Studien vor, welche den Zusammenhang zwischen den Überzeugungen von Lehrkräften und ihrem Materialnutzungsverhalten untersuchen. Roehrig, Kruse und Kern (2007) stellten einen direkten Zusammenhang zwischen den Vorstellungen zum Lehren und Lernen von 27 Chemielehrkräften aus den USA und dem Grad der Implementierung fest. Sie analysierten die Umsetzung einer materialgestützten *inquiry-based* Unterrichtskonzeption mittels Unterrichtsbeobachtungen und Interviews mit den Lehrkräften und beobachteten, dass die Lehrkräfte mit eher lehrerzentrierten Vorstellungen von Unterricht im Gegensatz zu stärker schülerorientierten Lehrkräften nur wenig der Unterrichtskonzeption nutzen (vgl. Tänzer, 2011). Ähnliche Befunde indizieren auch die Erkenntnisse der Interventionsstudie von McNeill (2009), wonach die inno-

vationsbereiteren Lehrkräfte mehr von der *inquiry-based* Unterrichtskonzeption umsetzen, was sich zudem positiv im Lernzuwachs der Schüler*innen widerspiegelt, wohingegen die eher traditionell orientierten Lehrkräfte, welche weniger offen für forschendes Lernen sind, viele Anpassungen an der Unterrichtskonzeption vornehmen mit dem Ergebnis, dass deren Schüler*innen einen niedrigeren Lernzuwachs erreichen.

Weiterhin lässt sich indirekt aus einer schriftlichen Befragung von 33 deutschen Grundschullehrkräften im Fach Mathematik schließen, dass die Lehrkräfte mit primär konstruktivistisch geprägten Vorstellungen zum Lehren und Lernen eher problemlöseorientierte Übungsaufgaben in ihren Unterricht integrieren, da die Schüler*innen dieser Lehrkräfte eine größere Leistungsentwicklung beim Problemlösen über ein Schuljahr durchlaufen (Staub & Stern, 2002). Da allerdings keine Unterrichtsbeobachtungen durchgeführt wurden, können keine direkten Schlussfolgerungen über die Aufgabenauswahl im Unterricht getroffen werden. Es ist allerdings bezeichnend, dass auch schülerorientierte Lehrkräfte unter hohem Zeitdruck vermehrt lehrergelenkte Instruktionen bevorzugen, um die Inhalte aus dem Lehrplan effizient abzuarbeiten, wie van Driel, Beijaard und Verloop (2001) in einem Überblicksbeitrag berichten.

Ferner befragten Rochnia und Trempler (2019) 73 Lehrkräfte zu extern genutzten Wissensquellen für eine evidenzbasierte Unterrichtspraxis. Demnach nutzen Lehrkräfte mit einer höheren intrinsischen Motivation zur Nutzung und höheren Nützlichkeitsüberzeugungen signifikant mehr empirische Evidenzen, wobei die intrinsische Motivation die Nutzung von Evidenz stärker vorhersagt. Die intrinsische Motivation hängt allerdings auch mit den Nützlichkeitsüberzeugungen zusammen (vgl. Hinzke, Gesang & Besa, 2020). „Die Nutzung von Evidenz scheint gegenwärtig lediglich durch besonders forschungsinteressierte und daher eher intrinsisch motivierte Lehrkräfte zu erfolgen“ (Rochnia & Trempler, 2019, 138).

Darüber hinaus konstatieren Beerenwinkel und Gräsel (2005) basierend auf einer schriftlichen Befragung von 240 Chemielehrkräften aus Deutschland, dass Lehrkräfte mit einer geringeren Akzeptanz des Schulbuches dieses seltener einsetzen. Dieses Verhalten beobachtete auch Graybeal (2010) bei fünf *middle school* Mathematiklehrkräften in den USA, deren Rezeption und Nutzung von Schulbüchern und *school district's curriculum guides* mittels Fragebogen, Unterrichtsbeobachtungen und Interviews untersucht wurden. Gleichwohl stellte sie fest,

„when teachers disagreed with the messages, their practices were still sometimes reflective of these messages. It seemed that this was because the teachers felt obligated to enact these messages“ (Graybeal, 2010, 1).

Es liegen allerdings auch Befunde aus Deutschland vor, wonach Lehrkräfte Lehrpläne aufgrund geringer Akzeptanz teilweise bewusst unterlaufen (Vollstädt et al., 1999). Dabei wird u.a. eine mangelnde Praxistauglichkeit kritisiert, eine Lehrperson sagt bspw.: „Da wird am grünen Tisch irgend etwas ausgekaspert von Leuten, die dafür Geld kriegen, aber am grünen Tisch, die keine Ahnung haben“ (Vollstädt et al., 1999, 138). Zugleich scheint es für Lehrkräfte enorm wichtig zu sein, dass materialgestützte Unterrichtskonzeptionen konsistent mit dem Lehrplan sind (van Driel, Beijaard & Verloop, 2001; Lindvall, 2016).

In jedem Fall stellt die Bereitschaft der Lehrkräfte eine zentrale Voraussetzung für eine Auseinandersetzung mit einer Unterrichtskonzeption im Selbststudium dar, insbesondere weil eine professionelle Weiterentwicklung dann am nachhaltigsten gelingt, wenn diese aus intrinsischen Motiven betrieben wird (Knowles, Holton & Swanson, 2012). Das Autonomieerleben konnte als eine Gelingensbedingung der Implementierung von Innovationen identifiziert werden (Schrader et al., 2020), was als Argument gegen die Vermittlung von Innovationen mittels Top-Down-Ansatz angeführt werden kann (Eylon & Hofstein, 2015).

Ferner scheinen verschiedene pädagogische Grundpositionen der Lehrkräfte Einfluss auf ihre Materialnutzung zu haben. Demnach legen fachlich orientierte Lehrkräfte großen Wert auf eine fachsystematische Abfolge von Themen und pädagogisch orientierte Lehrkräfte auf das bereitgestellte Lernangebot für Schüler*innen (Merzyn, 1994; Vollstädt et al., 1999). Auch Fallstudien von sechs Referendar*innen für Sachunterricht an Grundschulen basierend auf Interviews und lautem Denken während der Unterrichtsplanung belegen, dass der Grad der Implementation mit den Vorstellungen zum Lehren und Lernen von Lehrkräften zusammenhängt (Tänzer, 2011; 2017). Demzufolge handeln praktizistisch²⁵ orientierte Lehrkräfte häufig intuitiv und halten sich daher wenig an materialgestützte Unterrichtskonzeptionen, wohingegen Lehrkräfte, welche vermehrt lehrerstrukturiert unterrichten, das Schulbuch als zentral für ihren Unterricht einschätzen und sich eng daran orientieren.

Neben der Akzeptanz materialgestützter Unterrichtskonzeptionen oder der Übereinstimmung individueller Vorstellungen zum Lehren und Lernen mit dem in Materialien verfolgten didaktischen Ansatz scheinen auch Vertrautheit bzw. Fremdheit des zugrundeliegenden Konzepts der Materialien wesentliche Einflussfaktoren zu sein (Schrader et al., 2020). In einem Überblicksartikel zur Implementationsforschung schreiben Gräsel und Parchmann (2004): Wenn Lehrkräfte keinen wesentlichen Unterschied in dem Ansatz eines Unterrichtskonzepts zu ihrem bisherigen Vorgehen erkennen würden, sä-

²⁵Tänzer (2011) versteht unter Praktizismus die Neigung, „bei der praktischen Arbeit die theoretischen Grundlagen zu vernachlässigen“ (Dudenredaktion, 2001, 798, zitiert nach Tänzer, 2011, 9).

hen sie keinen Bedarf darin, ihr Vorgehen zu verändern. Bei zu großen Abweichungen zur bestehenden Praxis kommt es hingegen schnell „zu Ablehnung und Widerständen“ (Gräsel & Parchmann, 2004, 201; vgl. Pepin, Gueudet & Trouche, 2013). Dies steht im Zusammenhang mit den von Schrader et al. (2020) identifizierten Hinderungsfaktoren der Implementierung. Demnach wirken sich die Annahme, dass ähnliche Bestandteile des Implementationsgegenstands schon längst unterrichtet werden, bzw. eine Geringschätzung der Inhalte des Implementationsgegenstands hinderlich auf dessen Umsetzung aus. Vollstädt et al. (1999) fanden ebenfalls heraus, dass Lehrkräfte weniger kritisch neuen Lehrplanvorgaben gegenüber stehen, wenn diese zu ihrem typischen Vorgehen passt.

Aus einer Analyse schriftlicher Materialeinschätzungen eines *reform-based* (schülerorientierten und problemlöse-orientierten) und eines *traditional* Schulbuches von 23 Lehramtsstudierenden für Mathematik an Grundschulen in den USA folgt weiterhin, dass die Studierenden sich bei der Materialeinschätzung daran orientieren, was ihnen aus der eigenen Schulzeit bekannt ist – nämlich am traditionellem Zugang (Lloyd & Behm, 2005; vgl. Fischler, 2000b). Dieses Verhalten könnte auf Bedenken bei der Umsetzung der Materialien zurückzuführen sein. In einer Studie zum Fach *Science* in den USA geht aus Interviews und Unterrichtsbeobachtungen von 35 Lehrkräften hervor, dass die Lehrkräfte die bereitgestellte materialgestützte Unterrichtskonzeption für zu umfangreich halten, um sich während der täglichen Unterrichtsplanung darin einzuarbeiten. Weiterhin gaben die Lehrkräfte an, die Schüler*innen würden bei der Umstellung von einem vermehrt vermittelnden Unterricht hin zu forschend-entdeckendem Unterricht nicht gut mitarbeiten (Pringle, Mesa & Haynes, 2017). Mit zunehmender Routine und vor allem bei einer gewinnbringenden Einschätzung der Materialien reduzierten sich die Bedenken der untersuchten Lehrkräfte.

Eine Fragebogenstudie kombiniert mit der Analyse von Planungstagebüchern von 53 Grundschullehrkräften für Mathematik auf Zypern liefert Hinweise dafür, dass sich Bedenken und Selbstwirksamkeitserwartungen von Lehrkräften in Bezug auf die Implementierung einer problemlöseorientierten materialgestützten Unterrichtskonzeption wechselseitig beeinflussen (Charalambous & Philippou, 2010). Lehrkräften mit hohen Selbstwirksamkeitserwartungen sind demnach offener für Innovation (vgl. Schrader et al., 2020).

Materialgestützte Unterrichtskonzeptionen können aber auch die Selbstwirksamkeitserwartungen von Lehrkräften erhöhen, wie Möller (2010) bei Grundschullehrkräften für die Klassenkiste „Schwimmen und Sinken“, welche Lehrkräfte bei der Durchführung eines kognitiv aktivierenden Unterrichts unterstützen soll, beobachten konnte. Dabei ist zu beachten, dass Grundschullehrkräfte eher als Generalisten, denn als Spezialisten ausgebildet werden, was sich auf die Selbstwirksamkeitserwartungen auswirken könnte, und

somit die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Lehrkräfte anderer Schulformen einschränkt.

Tatsächlich fanden Bölsterli, Scheid und Hoesli (2016) schulformspezifische Unterschiede in der Materialnutzung von Grundschullehrkräften und Sekundarlehrkräften. Bei einer Befragung von 376 Lehrkräften stellte sich heraus, dass bei der Behandlung physikalischer Themen in der Sekundarstufe deutlich mehr Experimente aus dem Schulbuch als an Grundschulen umgesetzt werden, was entweder auf eine mangelnde Ausstattung in Grundschulen oder aber auf Unsicherheiten der Grundschullehrkräfte zurückgeführt werden kann.

Weiterhin kann es sich positiv auf die Motivation einer Lehrperson auswirken, wenn ein biographisches Selbstbetroffen-Sein der Lehrperson, etwa durch eigene Verständnisschwierigkeiten während der Schulzeit oder im Studium, gegeben ist (Schrader et al., 2020).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Übereinstimmung der Überzeugungen bzw. Ziele einer Lehrperson mit den in einer materialgestützten Unterrichtskonzeption verfolgten Zielen sich positiv auf die Implementierung dieser auswirkt.

„In general, teachers are reluctant to accept radical changes and often do not implement them in accordance with the rationale for the change suggested by the curriculum developers“ (Eylon & Hofstein, 2015, 260).

Weiterhin lässt sich vermuten, dass – ähnlich wie Lipowsky (2010) für die Akzeptanz von Fortbildungsprogrammen folgerte (vgl. Unterkapitel 3.2) – die Akzeptanz einer materialgestützten Unterrichtskonzeption keine hinreichende, jedoch eine notwendige Bedingung für die Implementierung darstellt. Lediglich eine von Lehrkräften erlebte Vorgabe der Umsetzung kann möglicherweise trotz geringer Akzeptanz bis zu einem gewissen Grad die Implementierung unterstützen, wobei dazu bislang keine konsistenten Ergebnisse vorliegen.

Es lässt sich allerdings auf der Basis der vorgestellten Studien nicht abschließend klären, inwieweit eine geringe Implementierung bei einer Nicht-Übereinstimmung der Überzeugungen einer Lehrperson und den Zielen einer fachdidaktisch innovativen materialgestützten Unterrichtskonzeption auf eine mangelnde Motivation oder auf ein fehlendes Verständnis der Innovation zurückzuführen ist. Das liegt u.a. darin begründet, dass eine Trennung zwischen subjektivem Wissen und Überzeugungen nicht ohne weiteres möglich ist, weshalb Baumert und Kunter (2006) Überzeugungen auch als Teil der professionellen Kompetenz einer Lehrperson definieren (vgl. Unterkapitel 2.2). Eine genauere Auseinandersetzung mit den Fähigkeiten einer Lehrperson und dem Einfluss auf die Materialnutzung erfolgt im weiteren Verlauf. Dabei sollte allerdings hinterfragt werden, inwieweit eine Bewertung der An-

gemessenheit solcher Überzeugungen überhaupt vorgenommen werden kann (vgl. Vogelsang, 2014), da auf dieser Basis die Qualität innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen diskutiert werden müsste.²⁶

3.3.3.5. Fähigkeiten und Möglichkeiten von Lehrkräften

Weitere wichtige Faktoren, die den Grad der Auseinandersetzung mit einer materialgestützten Unterrichtskonzeption im Modell von Gregoire (2003) entscheidend beeinflussen, sind die Fähigkeiten der Lehrperson. Hierzu können das professionelle Wissen und Können sowie die Berufserfahrung als mediierender Faktor gezählt werden (vgl. Lipowsky, 2006).

Sleep und Eskelson (2012) untersuchten die Nutzung einer materialgestützten Unterrichtskonzeption zur Bruchrechnung zweier Mathematiklehrkräfte mit unterschiedlichem *mathematical knowledge for teaching* (MKT) und stellten fest, dass sich die Lehrperson mit geringerem MKT stärker an der Unterrichtskonzeption orientiert, indem sie vorgeschlagene Lösungswege zu Aufgaben und Visualisierungsmöglichkeiten nutzt, um das Verständnis der Schüler*innen zu unterstützen. Womöglich kann sogar ein niedriges fachdidaktisches Wissen von Lehrkräften durch die Bereitstellung einer empirisch fundierten, fachdidaktisch innovativen materialgestützten Unterrichtskonzeption ausgeglichen werden. Tobias (2010) berichtet, dass ein niedrigeres fachdidaktisches Wissen durch die fachdidaktisch innovative Unterrichtskonzeption so kompensiert werden kann, dass keine signifikanten Unterschiede in den Lernzuwachsen der Schüler*innen von Lehrkräften mit hohem und mit niedrigem fachdidaktischen Wissen festzustellen sind. Allerdings steigt laut Tobias (2010) die Akzeptanz einer solchen Unterrichtskonzeption, wenn Lehrkräfte bereits über fachdidaktisches Wissen zu möglichen Lernschwierigkeiten des Themengebiets verfügen.

In der Untersuchung von Charalambous und Hill (2012) wurde neben Unterrichtsbeobachtungen zusätzlich das MKT der Lehrkräfte erhoben und mit der Unterrichtsqualität in Beziehung gesetzt. Demzufolge setzen die Lehrkräfte mit höherem MKT die materialgestützte Unterrichtskonzeption mit weniger fachlichen Fehlern um, gehen adäquater auf Nachfragen der Schüler*innen ein und gestalten die Unterrichtsstruktur sinnvoller.

Weiterhin wurde in verschiedenen Studien festgestellt, dass Lehrkräfte bei der Nutzung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen oftmals ihre eigenen Ziele und nicht die von den Materialentwickler*innen intendierten Ziele verfolgen (Vos et al., 2011; Boesen et al., 2014; Davis et al., 2017).

²⁶Denn es liegen teilweise keine Wirksamkeitsanalysen der materialgestützten Unterrichtskonzeptionen aus den hier vorgestellten Studien vor, viele wurden lediglich auf Basis von Design-Heuristiken oder curricularen Standards entwickelt. So kann eine hohe Qualität der Materialien für diese Fälle nicht oder nur eingeschränkt gewährleistet werden.

Bedenklich ist, dass Lehrkräften häufig sogar ein tieferes Verständnis der intendierten Ziele fehlt (vgl. Reinhold, 1997). Forbes und Davis (2007) vermuten, dass das *curricular knowledge* das Verständnis und damit die spätere Umsetzung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen entscheidend beeinflusst.

Es kann die Hypothese aufgestellt werden, dass viele Lehrkräfte von sogenannten „Schwellenkonzepten“ (bspw. Vorstellungen zum Lehren und Lernen) geprägt sind – ähnlich wie Lernende von Schülervorstellungen – welche die Rezeption und Umsetzung einer fachdidaktischen Innovation beeinflussen (Riegler, 2014).²⁷ Infolgedessen erkennen manche Lehrkräfte das Innovationspotential einer Unterrichtskonzeption nicht (Riegler, 2014). Dann besteht die Gefahr, dass solche Lehrkräfte genau die zentralen Komponenten eines Konzepts weglassen, die eigentlich für eine effektive Lehre zentral wären (vgl. Staub, 2001; Schrader et al. 2020). Überdies sind die auf dieser Grundlage entstandenen individuellen Unterrichtsskripte sehr stabil und somit nur schwer veränderbar (Seidel et al., 2006).

Neben diesen kognitiven Ressourcen von Lehrkräften zu dem Inhaltsbereich einer Innovation erscheint auch für eine adäquate Bewertung einer empirisch fundierten, fachdidaktischen Innovation im Vergleich zu alternativen Vorgehensweisen die Fähigkeit der Beurteilung der Qualität der empirischen Wirksamkeitsbelege von Bedeutung. Trempler et al. (2015) definieren hierzu die Kompetenz des evidenzbasierten Argumentierens, welche in einer schriftlichen Befragung von 341 Studierenden unterschiedlicher Ausbildungsstufen validiert wurde. Trempler et al. (2015) unterscheiden dazu die Kompetenzen (a) Bewertung verschiedener Informationsquellen hinsichtlich ihrer Aussagekraft für eine konkrete Situation im Kontext und (b) die Abwägung unterschiedlicher und möglicherweise widersprüchlicher wissenschaftlicher Informationen. Stark (2017) kritisiert, dass sich die Kompetenz des evidenzbasierten Argumentierens nach Trempler et al. (2015) ausschließlich auf die Wahrnehmung und Beurteilung, jedoch nicht auf den kompetenten Umgang mit empirischen Befunden bezieht. Daher fordert Gräsel (2019) als Ergänzung zum Vorschlag von Trempler et al. (2015) die Kompetenz (c) Integration des wissenschaftlichen Wissens mit eigenen Erfahrungen bzw. den Standards der Gepflogenheiten der professionellen Community.

In diesem Zusammenhang lässt sich auch die von Brown (2012) postulierte *pedagogical design capacity* einordnen, also die Fähigkeit, auf der Grundlage personeller und curriculärer Ressourcen das Unterrichtsgeschehen zu gestalten (Brown, 2012; vgl. Remillard & Kim, 2020b). Demzufolge kann trotz gleicher Wissensbestände, Erfahrungen und Überzeugungen die Nutzung der

²⁷Riegler (2014) bezieht sich in seinem Beitrag auf Hochschullehrende in der Mathematik, aber es erscheint naheliegend, dass seine Überlegungen auch auf Lehrkräfte übertragbar sind.

gleichen Unterrichtskonzeption unterschiedlich ausfallen. Brown (2012) vergleicht dazu die Implementierung von Materialien mit der Interpretation von Noten durch Jazz-Musiker. Er bezieht sich allerdings auf die Materialnutzung im Allgemeinen und nicht konkret, wie Trempler et al. (2015) oder Gräsel (2019), auf die Nutzung evidenzbasierter Materialien.

Ferner stellt die Berufserfahrung einen wichtigen Einflussfaktor auf das professionelle Handeln von Lehrkräften dar – insbesondere in der Flexibilität sind deutliche Unterschiede zwischen Experten- und Novizenlehrkräften zu sehen (Lipowsky, 2006). Eine Befragung zum eigenständigen Lernen von Lehrkräften aus den Niederlanden ($N = 309$) liefert Hinweise dafür, dass es auch in der Innovationsbereitschaft Unterschiede zwischen Experten- und Novizenlehrkräften gibt (Louws, Meirink, van Veen & van Driel, 2017). Demzufolge sind Lehrkräfte mit wenig Berufserfahrung eher bereit, neue Konzepte im Unterricht auszuprobieren.

Neben diesen kognitiven Ressourcen von Lehrkräften spielen auch externe Faktoren eine Rolle bei der Möglichkeit der Auseinandersetzung und Implementierung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen. Zu nennen sind hier bspw. die wahrgenommenen sozialen Normen durch das Kollegium, die Schulleitung, die Eltern bzw. die Schüler*innen oder auch Rahmenbedingungen wie die Ausstattung der Sammlung. Dies betrifft vor allem die Durchführung von Schülerexperimenten (Jones & Carter, 2010; Niehaus, 2011; Schrader et al., 2020). Matic und Glasnovic Gracin (2020) berichten etwa von einer Lehrkraft, die zwar wenig überzeugt vom angeschafften Schulbuch ist, sich aber dennoch eng daran orientiert, denn „it was bought“ (Matic & Glasnovic Gracin, 2020, 11). Die Lehrkraft empfindet einen Erwartungsdruck, da ihre Kolleg*innen für die Anschaffung dieses Buches stimmten. Einen Hinderungsgrund für die Implementierung stellen Anschaffungskosten für Lehrkräfte oder die Schule bei Neuauflagen oder neuen Unterrichtskonzeptionen dar (Niehaus, 2011; Neumann, 2015; Schrader et al., 2020). Für Lehrkräften scheint bei der Auswahl von Unterrichtskonzeptionen sogar weniger die Qualität als die Verfügbarkeit entscheidend zu sein (Neumann, 2015).

Darüber hinaus ist die Einarbeitung in eine neue Unterrichtskonzeption immer mit einem hohen zeitlichen Aufwand für Lehrkräfte verbunden (Duit, Riquarts & Westphal, 1976; Kahlert, Hedtke & Schwier, 2000; Niehaus, 2011), was ebenfalls berücksichtigt werden muss. Zudem benötigen Lehrkräfte teilweise mehrere Unterrichtszyklen Zeit für die Umstellung auf eine neue Unterrichtskonzeption (Reinhold, 1997; Collopy, 2003).

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass fachdidaktisch innovative materialgestützte Unterrichtskonzeptionen potentiell Lehrkräfte mit einem geringeren fachdidaktischen Wissen unterstützen können. Jedoch ist die Akzeptanz solcher Unterrichtskonzeptionen bei Lehrkräften mit einem

höheren fachdidaktischen Wissen größer. Zudem kann davon ausgegangen werden, dass bestehende Überzeugungen und Handlungsskripte von Lehrkräften sehr stabil und schwierig zu verändern sind, was den Transfer einer fachdidaktischen Innovation erschwert. Weiterhin sind neben solchen kognitiven Ressourcen der Lehrperson die externen Rahmenbedingungen wie die Erwartungen der Schulleitung oder die Ausstattung der Schule für eine Implementierung von großer Bedeutung.

3.3.3.6. Unterschiede in der Nutzung und Umsetzung

Aus den zuvor vorgestellten verschiedenen Determinanten der Nutzung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen lässt sich folgern, dass es sich bei der Implementierung um einen sehr individuellen Prozess handelt. In der Tat konnten in verschiedenen Studien durch Fallvergleiche Unterschiede im Nutzungsverhalten von Unterrichtskonzeptionen beobachtet werden. Collopy (2003) stellte bei einer Unterrichtsanalyse zweier Grundschullehrkräfte aus den USA im Fach Mathematik fest, dass eine Lehrkraft viel der bereitgestellten materialgestützten Unterrichtskonzeption implementiert und den darin vermittelten problemlöseorientierten Ansatz übernimmt, wohingegen die andere Lehrkraft das Material selektiv im Unterricht einsetzt und ihren Schwerpunkt dabei auf die Anwendung von Routineverfahren legt. Bismack et al. (2015) berichten ebenfalls von Unterschieden im Nutzungsverhalten zweier Grundschullehrkräfte aus den USA. Sie untersuchten anhand von Interviews, Unterrichtsbeobachtungen und der Analyse von Schülerarbeitsheften die Nutzung zusätzlicher *educative features* für Lehrkräfte in einer materialgestützten Unterrichtskonzeption im Fach *Science*. Eine der Lehrkräfte setzt deutlich mehr der *educative features* um, was sich sowohl im Unterricht als auch in den Notizen der Schüler*innen widerspiegelt.

Aus Unterrichtsbeobachtungen von vier *middle school* Lehrkräften für *Science* aus den USA geht hervor, dass zwei der Lehrkräfte den *inquiry-based* Ansatz der materialgestützten Unterrichtskonzeption umsetzen (Schneider, Krajcik & Blumenfeld, 2005). Die anderen Lehrkräfte setzen den *inquiry-based* Ansatz nicht um und eine der beiden Lehrkräfte greift während der gesamten Unterrichtsreihe auf keine der bereitgestellten Unterstützungshilfen für Lehrkräfte zurück.

Weiterhin liefert eine Studie von Drake und Sherin (2006) Hinweise auf ein unterschiedliches Vorgehen bei der Anpassung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen. Sie untersuchten ebenfalls mithilfe von Interviews und Unterrichtsbeobachtungen über einen Zeitraum von über einem Jahr die Materialnutzung zweier Grundschullehrkräfte in den USA im Fach Mathematik. Eine Lehrkraft nimmt insgesamt nur wenige Anpassungen an der Unterrichtskonzeption vor und nutzt das Materialpaket als Basis für den

Unterricht, wohingegen sich die andere Lehrkraft lediglich bei der Hälfte der beobachteten Stunden an der Konzeption orientiert und zudem viele Anpassungen vornimmt. Überdies berichtet Remillard (1999) aus einer Interviewstudie zum Nutzungsverhalten zweier Grundschullehrkräfte aus den USA im Fach Mathematik, dass die Lehrkräfte nach dem Lesen gleicher Auszüge aus der bereitgestellten Unterrichtskonzeption unterschiedliche Intentionen für den Einsatz benennen und zwar als Aufgabensammlung für den Unterricht bzw. als zugrundeliegendes Konzept, um daraus eigene Aufgaben zu entwickeln.

In einer weiteren Studie wurde mittels Fragebogen, Unterrichtsbeobachtungen und Interviews das Nutzungsverhalten einer kontextbasierten materialgestützten Unterrichtskonzeption von vier deutschen Chemielehrkräften der Sek I erhoben (Vos et al., 2011). Es zeigt sich, dass lediglich eine Lehrperson durch die Unterrichtskonzeption angeregt wird, mit den Schüler*innen Forschungsfragen zum Kontext zu entwickeln. Die anderen drei Lehrkräfte nutzen keine Fragen von Schüler*innen für die Planung der Unterrichtsreihe. Zwei der drei Lehrkräfte behandeln den vorgeschlagenen Kontext, geben aber vor, unter welchen Fragestellungen dieser bearbeitet wird. Die andere Lehrperson bindet ihre Schüler*innen zwar aktiv in den Unterricht ein, bezieht sich dabei allerdings nicht mehr auf den Kontext aus der Unterrichtskonzeption. Eisenmann und Even (2012) stellen mittels Unterrichtsbeobachtungen und Interviews sogar bei der gleichen Lehrperson Unterschiede in der Implementierung einer materialgestützten Unterrichtskonzeption für den Mathematikunterricht in zwei unterschiedlichen Klassen fest. Die Lehrperson setzt verschiedene Schüleraktivitäten aus dem Konzept in den beiden Klassen um. Auch Matic (2019) berichtet von einer unterschiedlichen Materialnutzung einer Mathematiklehrkraft aus Kroatien auf der Basis von Interviews und Unterrichtsbeobachtungen. Demnach ist die Schulbuchnutzung ein dynamisches Zusammenspiel, welches u.a. von den verfolgten Unterrichtszielen und der Einschätzung der Bedürfnisse der Schüler*innen durch die Lehrkraft abhängt. Aus diesem Grund nutzt die Lehrkraft kein „ready-made material without thinking about the effect this will have on her students“ (Matic, 2019, 68).

Aus den Daten von 22 *Science*-Klassen in den USA, welche mittels Fragebogen der Lehrkräfte und Prä-Post-Tests der Schüler*innen erhoben wurden, schließen McNeill, Pimentel und Strauss (2013, 2637, Hervorhebungen übernommen),

„*how* teachers enact the curriculum is more important than how much of the curriculum they use. The role of the teacher is essential in the enactment of the curriculum materials. Between 34% and 42.5% of the variation in student achievement was a result of how the teachers used the curriculum materials in their classrooms.“

Roehrig, Kruse und Kern (2007) identifizierten bei der Implementierung einer *inquiry-based* Unterrichtskonzeption drei verschiedene Nutzungstypen: *traditional teachers*, *mechanistic implementers* und *inquiry teachers*. Die *traditional teachers* zeichnen sich durch transmissive Vorstellungen zum Lehren und Lernen aus und setzen entweder gar nichts oder nur unter signifikanten Modifizierungen etwas von der bereitgestellten Unterrichtskonzeption um. Die *mechanistic implementers* orientieren sich zwar eng an der Konzeption, setzen aber dennoch nicht das zugrundeliegende Konzept um (*inquiry teaching strategies*), was Roehrig, Kruse und Kern (2007) auf sowohl mangelnde Berufserfahrung als auch wenig konstruktivistische Vorstellungen zum Lehren und Lernen zurückführen. Lediglich die *inquiry teachers* implementieren die Tiefenstruktur und damit die fachdidaktische Innovation der Unterrichtskonzeption. Diese Lehrkräfte weisen konstruktivistische Vorstellungen auf. Diese drei Nutzungstypen entsprechen im weiteren Sinne in dem adaptierten Modell von Gregoire (2003) der Aufteilung *Keine Umsetzung*, *Oberflächliche Umsetzung* und *Tiefgreifende Umsetzung* einer fachdidaktisch innovativen Unterrichtskonzeption.

Aus Interviews von 18 Lehrkräften, welche bilingual Erdkunde in Deutschland an der deutsch-französischen Grenze unterrichten, lassen sich ebenfalls verschiedene Materialnutzungstypen ableiten (Müller-Bittner, 2008): (1) der Authentische, (2) der Kreative, (3) der Authentisch-Kreative, (4) der Entlastungssuchende und (5) der Material-Ausgewogene. Ersterer zeichnet sich durch eine intensive Nutzung französischer Schulbücher aus, um eine authentische Lernumgebung zu schaffen. Der Kreative orientiert sich im Gegensatz dazu kaum an Schulbüchern, sondern verwendet sehr unterschiedliche Materialien und besitzt eine umfassende eigene Materialsammlung. Der Authentisch-Kreative stellt einen Mischtyp aus den beiden ersten Typen dar. Der Entlastungssuchenden orientiert sich aufgrund von Zeiteffizienz und Verfügbarkeit in erster Linie am deutschen Schulbuch. Der Material-Ausgewogene zeichnet sich hingegen durch eine ausgewogene Verwendung verschiedener Unterrichtskonzeptionen aus.

Die Interviewstudie von Breuer, Vogelsang und Reinhold (2018) liefert ebenfalls Hinweise auf Materialnutzungstypen im Fach Physik. Sie identifizierten die Typen *Pragmatiker*, *Kreativer* und *Vorsichtiger*. Die beiden ersten sind vergleichbar mit dem Entlastungssuchenden und dem Kreativen nach Müller-Bittner (2008), was auf fächerübergreifende Tendenzen in der Materialnutzung hinweist. Breuer, Vogelsang und Reinhold (2018) konstatieren, dass die Verteilung für die teilnehmenden Lehramtsstudierenden, Referendar*innen und Lehrkräfte ähnlich ausfällt, sodass vermutlich primär bestimmte Persönlichkeitsmerkmale und Überzeugungen und weniger

die Berufserfahrung ausschlaggebend für die verschiedenen Nutzungsmuster sind. Die drei Studien verdeutlichen, dass es unterschiedliche Nutzungstypen von Materialien unter Lehrkräften gibt, was verschiedene Erwartungen an materialgestützte Unterrichtskonzeptionen und einen unterschiedlichen Einfluss der Konzeptionen auf Unterricht zur Folge hat.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das Nutzungsverhalten materialgestützter Unterrichtskonzeptionen durch Lehrkräfte individuell sehr unterschiedlich ausfallen kann. Dies ist auf die zuvor vorgestellten Determinanten der Nutzung zurückzuführen. Offenkundig fällt dadurch auch die Wirksamkeit materialgestützter Unterrichtskonzeptionen auf Unterricht sehr unterschiedlich aus. Allerdings kann auf Grundlage der vorgestellten Erkenntnisse nicht abschließend geklärt werden, welche Art der Auseinandersetzung und Umsetzung als positiv zu bewerten ist, da dies maßgeblich von den Fähigkeiten der Lehrperson, der Qualität der Unterrichtskonzeption und der Unterrichtsqualität abhängt. Dies soll nun im Folgenden diskutiert werden.

3.3.4. Zusammenfassung: Bereitstellung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen

Ausgangspunkt dieses Unterkapitels bildet die Transferproblematik, nach welcher sich viele empirisch fundierte, innovative Unterrichtskonzepte selten nachhaltig und flächendeckend im schulischen Unterricht etablieren. Die bisherige Forschungslage ist bislang diffus und wenig systematisch, insbesondere für das Fach Physik kann in diesem Forschungsbereich ein Desiderat identifiziert werden (Breuer, Vogelsang & Reinhold, 2020a). Nichtsdestotrotz können einige zentrale Hypothesen zur Nutzung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen durch Lehrkräfte aus den zuvor berichteten Befunden abgeleitet werden:

- a) Die Übernahme empirisch fundierter Unterrichtskonzeptionen durch Lehrkräfte kann die Fähigkeiten der Lehrkräfte, die Qualität des Unterrichts und die Lernwirksamkeit verbessern.
- b) Die Nutzung von Unterrichtskonzeptionen ist abhängig von einem komplexen Wirkungsgefüge von Einflussfaktoren, welche sich reziprok bedingen.
- c) Es existiert eine Reihe von Hinderungsgründen für die Nutzung und nachhaltige Implementierung empirisch fundierter Unterrichtskonzeptionen.
- d) Implementationsfördernde Gestaltungsmerkmale von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen stehen teilweise im Widerspruch zu normativ begründeten Design-Heuristiken.

Aus den vorgestellten Forschungsergebnissen geht hervor, dass materialgestützte Unterrichtskonzeptionen potentiell die Unterrichtsqualität, das Professionswissen und die Selbstwirksamkeitserwartungen von Lehrkräften erhöhen können (a) (Hübinger, 2008; Möller, 2010; Tobias, 2010; Charalambous & Hill, 2012; McNeill, Pimentel & Strauss, 2013; Arias et al., 2017; Burde, 2018; Humphrey, Barlow & Lendrum, 2018; Larrain, Howe & Freire, 2018; Bayram-Jacobs et al., 2019; Roseman et al., 2019; Kartamiharja & Sopandi, 2020). Allerdings sind die gewonnenen Erkenntnisse zumeist deskriptiv und können die genauen Wirkmechanismen bei der Wechselwirkung zwischen Merkmalen der Materialien und Merkmalen der Lehrkräfte nicht erklären bzw. betrachten diese kaum (Remillard, 2005; Lendrum & Humphrey, 2012; Davis, Janssen & van Driel, 2016). Trotz der berichteten Einschränkungen bieten (viele) Unterrichtskonzeptionen grundsätzlich die Möglichkeit, Lehrkräfte zu unterstützen und nachgewiesenermaßen die Unterrichtsqualität und den Lernzuwachs der Schüler*innen zu erhöhen.

Aus den bisherigen Forschungserkenntnissen kann auch gefolgert werden, dass viele verschiedene Einflussfaktoren auf die Nutzung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen existieren, welche sich wechselseitig beeinflussen und bei der Auswahl von Materialien durch Lehrkräfte und ihrer tatsächlichen Umsetzung im unterrichtlichen Handeln eine Rolle spielen (b). Aufgrund dieses komplexen Wirkungsgefüges kann kein eindeutiger Ursache-Wirkungszusammenhang zwischen einzelnen Aspekten ausgemacht werden, was weitere Forschungen zur Spezifizierung der Wirkmechanismen notwendig macht (Eylon & Hofstein, 2015; Schrader et al., 2020). Denn die Gestaltung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen und die Nutzung durch Lehrkräfte hängen teilweise sehr stark zusammen. Die Akzeptanz von Unterrichtskonzeptionen kann bspw. sowohl von der Qualität der Materialien als auch von den Überzeugungen der Lehrkräfte abhängen. Gerade die personenabhängigen Einflussfaktoren sind teilweise sehr stabil, weshalb es beim Einsatz innovativer Materialien selten zu einer Akkommodation, sondern zumeist lediglich zu einer Assimilation in Form einer oberflächlichen Änderung der Unterrichtspraxis kommt – auch wenn Lehrkräfte die materialgestützte Unterrichtskonzeption positiv einschätzen und umsetzen wollen (Gregoire, 2003; Boesen et al., 2014).

Weiterhin lassen sich aus den vorgestellten Studien zentrale Faktoren ableiten, die eine Umsetzung der Kernanliegen innovativer Lehrkonzepte im schulischen Unterricht verhindern bzw. erschweren können (c). Wie zuvor beschrieben, wirkt sich eine geringe Akzeptanz von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen hemmend auf die Implementierung aus. Bei einer geringen Akzeptanz werden sogar Lehrpläne trotz ihres hohen Verbindlichkeitsgrads teilweise bewusst unterlaufen (Vollstädt et al., 1999). Darüber hinaus passen Lehrkräfte bei der Umsetzung von Unterrichtskonzeptionen

diese selektiv auf ihre eigenen Ziele an, weshalb oftmals das den Materialien zugrundeliegende Konzept und die damit verfolgten Ziele nicht oder nur teilweise nachvollzogen und umgesetzt werden. Hinzu kommt, dass die intendierten Ziele Lehrkräften teilweise nicht deutlich werden.

Ferner ist es für die Implementierung hinderlich, wenn das in den Materialien vermittelte Konzept Lehrkräften aus der Perspektive ihrer bisherigen Unterrichtspraxis sehr fremd erscheint – was folglich eine grundlegende Schwierigkeit für die Implementierung innovativer Konzepte darstellt. Diese wird auch noch durch den bestehenden Reformdruck zur Verbesserung der Unterrichtsqualität erschwert, aufgrund dessen ständig neue Reformen durchgeführt werden, sodass es für Lehrkräfte kaum möglich ist zu sehen, ob ihre Bemühungen Erfolg hatten, was wiederum zu Frustration und Widerständen auf Seiten der Lehrkräfte führen kann (vgl. Staub, 2001). Zusätzlich wird oft unterschätzt, dass oberflächliche Faktoren wie Zeitdruck, Verfügbarkeit und die finanziellen Kosten von Materialien bereits eine Hürde für Nutzung und Implementierung darstellen und inhaltliche Faktoren wie die Qualität der Materialien überlagern.

Sowohl bei den Hinderungs- als auch bei den Gelingensfaktoren der Implementierung sind die wenigsten Größen konstant, sondern potentiell beeinflussbar (vgl. Schrader et al., 2020). Daher ist aufgrund der genannten Hemmnisse für die Nutzung und Implementierung eine sorgfältige und durchdachte Gestaltung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen ratsam. Aus den bisherigen Forschungserkenntnissen können die folgenden implementationsfördernden Gestaltungsmerkmale abgeleitet werden (d): Materialgestützte Unterrichtskonzeptionen sollten übersichtlich gestaltet und auf den jeweiligen Kernlehrplan bezogen sein und die Inhalte kompakt zusammenfassen, um von Lehrkräften bei der Unterrichtsvorbereitung als Hilfestellung wahrgenommen zu werden. Zudem sollten die intendierten Ziele einer Konzeption explizit verdeutlicht werden. Ferner ist eine Kennzeichnung der Kernelemente, welche im Wesentlichen den innovativen Charakter des Konzepts auszeichnen, im Gegensatz zu fakultativen Elementen sinnvoll, um Lehrkräften eine flexible, aber gleichzeitig zielführende Handhabung zu ermöglichen und einer unsystematischen Nutzung als „Steinbruch“ entgegenzuwirken. Weiterhin wird die Implementierung begünstigt, wenn materialgestützte Unterrichtskonzeptionen konkrete Vorschläge für den Unterricht wie etwa Arbeitsblätter, Abbildungen oder mögliche Schülerantworten beinhalten.

Darüber hinaus wird von Fachdidaktiker*innen vorgeschlagen, Inhalte zur Weiterentwicklung des fachdidaktischen Wissens für fachliche Inhalte und (natur)wissenschaftliche Arbeitsweisen und des Fachwissens, sogenannte *educative features*, in Unterrichtskonzeptionen bereitzustellen, um die Weiterentwicklung der professionellen Kompetenz von Lehrkräften zu fördern. Al-

lerdings nutzen Lehrkräfte oftmals den weiterbildenden Charakter von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen nicht (Bromme, 1981; Tebrügge, 2001; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012; Gassmann, 2013; Land, Tyminski & Drake, 2015; Breuer, Vogelsang & Reinhold, 2018b; Siedel & Stylianides, 2018). An dieser Stelle wird deutlich, dass die Interessen von Lehrkräften, mit möglichst geringem Aufwand materialgestützte Unterrichtskonzeptionen implementieren zu wollen, den Forderungen von Materialentwickler*innen zur weiterbildenden Nutzung, welche eine intensive Auseinandersetzung mit dem Konzept voraussetzt, gegenüberstehen. Es stellt sich also die Frage, ob sich überhaupt konkrete, aber dennoch generalisierbare Hinweise für die Gestaltung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen formulieren lassen, die beiden Seiten gerecht werden.

3.3.5. Diskussion: Nutzung und Implementierung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen

Die oben getroffenen Aussagen zur Nutzung von Materialien durch Lehrkräfte unterliegen allerdings einigen Einschränkungen, die der zugrundeliegenden Studienlage geschuldet sind. Generell unterscheiden sich die analysierten Studien stark in ihren Vorgehensweisen, Zielsetzungen und untersuchten Schulstufen, was insgesamt die Vergleichbarkeit erschwert. Darüber hinaus konnten die folgenden zentralen Schwierigkeiten des Forschungsfeldes identifiziert werden:

- a) geringe Stichprobenumfänge und hohe Inferenz in der Auswertung,
- b) wenig systematischer Einbezug von Materialmerkmalen,
- c) eingeschränkte Vergleichbarkeit aufgrund kultureller Unterschiede und
- d) kein gemeinsames Verständnis von Implementierung.

Die Forschung zur Implementierung evidenzbasierter, fachdidaktisch innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen ist zum jetzigen Zeitpunkt noch wenig systematisch und beruht auf explorativen Studien mit zumeist kleinem Stichprobenumfang (a) (Drake, Land & Tyminski, 2014). Groß angelegte Forschungsprojekte wie das von Davis et al. (2017), welches sich aus mehreren Studien zur Pilotierung und Wirksamkeitsüberprüfung zusammensetzt, oder das IPN Curriculum Physik für die Jahrgangsstufen 5 bis 10, welches Curriculumentwicklung und empirische Forschung verknüpfte und zum Teil großen Einfluss auf die damaligen Lehrpläne hatte (Duit, Riquarts & Westphal, 1976; Willer, 2003), sind selten.

Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass die Nutzung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen und insbesondere Entscheidungen bei der Unterrichtsplanung und der Auswahl von Materialien methodisch meist nur über Selbsteinschätzungen der Lehrkräfte wie Fragebögen oder Interviews erhoben werden können, was ebenfalls die Aussagekraft der Erkenntnisse einschränkt. Durch die Hinzunahme weiterer Methoden wie Unterrichtsbeobachtungen werden zwar in vielen Studien die Ergebnisse abgesichert, dennoch besteht aktuell in diesem Forschungsgebiet die Problematik stark interpretativer Ergebnisse. Überdies ist bekannt, dass Unterrichtsbeobachtungen die Implementierung beeinflussen können (Durlak & DuPre, 2008). Zudem ist die Teilnahme an den Studien in der Regel freiwillig, sodass von verzerrten Stichproben im Sinne von vermutlich sehr motivierten und engagierten Lehrkräften ausgegangen werden muss (Duit, Riquarts & Westphal, 1976; Fishman & Krajcik, 2003), was nach dem adaptierten Modell von Gregoire (2003) die Bandbreite der gewonnenen Erkenntnisse zum Implementationsprozess einschränken könnte. Des Weiteren wird die Evaluation von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen im Regelfall von den Materialentwickler*innen durchgeführt, was ein grundlegendes Validitätsproblem darstellt, da diese nicht als unvoreingenommen eingestuft werden können.²⁸

Eine weitere Schwierigkeit für die Formulierung verallgemeinerbarer Ergebnisse zur Implementierung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen ist, dass nicht in allen Studien der Aufbau, die Zusammensetzung und der Grad an Verbindlichkeit der Nutzung vorgestellt werden (b). Es liegen überdies deutlich weniger Studien zur Beeinflussung der Implementierung durch materialspezifische Aspekte als durch Charakteristika von Lehrkräften vor (vgl. Remillard, 2005). Zudem werden bei den wenigen vorliegenden Studien vor allem inhaltspezifische Faktoren auf einer Metaebene betrachtet und kaum konkrete Aspekte wie die Körnung, Zusammensetzung, Vermittlung von Zielen, Grad der Offenheit oder Gestaltung untersucht. Dass insgesamt nur wenige allgemeine Aussagen zur Gestaltung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen formuliert werden können, ist u.a. auch dem Umstand geschuldet, dass der Begriff *materialgestützte Unterrichtskonzeption* als Sammelbegriff verwendet wird²⁹ und daher eine ganze Bandbreite an unterschiedlichen Materialien zusammenfasst.

²⁸Für die Entwicklung und Anwendung eines Tests spricht Kane (2013) in diesem Kontext vom *straw man fallacy*, also dass Test-Entwickler*innen in der Regel so viel wie möglich aus einem Test herausholen möchten. Dieser Urteilsfehler lässt sich auch auf die Evaluation von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen übertragen.

²⁹Im Englischen ist häufig die Rede von sogenannten *Standards-based curriculum materials* und die Begriffe *curricula* und *curriculum materials* werden vielfach synonym verwendet, sodass unklar ist, inwieweit es sich nach deutschem Verständnis wirklich um „Lehrpläne“ oder fakultativ nutzbare Unterrichtskonzeptionen handelt (vgl. Abschnitt 3.3.1).

Ferner nehmen nur wenige Studien mit Fokus auf Lehrercharakteristika wie etwa individueller Überzeugungen gleichzeitig auch eine Materialanalyse vor, was sicherlich oftmals in Anbetracht der zur Verfügung stehenden Ressourcen auch nicht möglich ist, aber die Erklärungskraft der Ergebnisse limitiert.³⁰ Darüber hinaus lässt sich festhalten, dass ein Desiderat an systematisch aufeinander aufbauenden Evaluations- und Implementationsstudien herrscht. Vielen Interventionen, welche unter gut kontrollierbaren Bedingungen die Lernwirksamkeit des Materials nachweisen, fehlt eine anschließende Untersuchung des Implementationsprozesses unter authentischen Bedingungen (z.B. Staub & Stern, 2002; Müller, 2003; Songer & Gotwals, 2005; McNeill, 2009; Tobias, 2010; McNeill, Pimentel & Strauss, 2013; Kleickmann et al., 2016; Burde, 2018).³¹ Denn es ist nicht davon auszugehen, dass der Transfer qualitativ hochwertiger und empirisch fundierter Unterrichtskonzeptionen ein Selbstläufer ist (vgl. Lipowsky, 2019). Ohne eine gezielte Unterstützung des Implementationsprozesses ist anzunehmen, dass sich viele evidenzbasierte, fachdidaktisch innovative Unterrichtskonzeptionen nicht auf breiter Basis durchsetzen werden. Es liegen folglich vielfach empirische Evidenzen zur potentiellen Wirksamkeit materialgestützter Unterrichtskonzeptionen vor, welche allerdings nicht repräsentativ für den Einsatz im Berufsalltag sind, sondern lediglich zeigen, was im Optimalfall möglich ist (vgl. Pepin et al., 2013). Eine ähnliche Folgerung zieht Lipowsky (2019) zum derzeitigen Forschungsstand von Fortbildungen (vgl. Unterkapitel 3.2).

Zugleich analysieren viele Implementationsstudien (z.B. Remillard, 1999; Collopy, 2003; Roehrig, Kruse & Kern, 2007; Charalambous & Philippou, 2010; Charalambous & Hill, 2012; Sleep & Eskelson, 2012; Boesen et al., 2014; Cervetti, Kulikowich & Bravo, 2015) die Umsetzung von lediglich theoriegeleitet entwickelten Unterrichtskonzeptionen, denen eine vorausgehende Wirksamkeitsanalyse fehlt (vgl. Greenberg, Domitrovich, Graczyk & Zins, 2005; Wodzinski & Wilhelm, 2018; Schrader et al., 2020). Gleiches gilt typischerweise ebenfalls für Schulbücher (Wiater, 2005).³² Auch die Berufung auf Lehrpläne stellt zwar eine Legitimationsfunktion, aber nicht notwendi-

³⁰Man erwartet allerdings zumindest eine Beschreibung der betrachteten materialgestützten Unterrichtskonzeptionen, was keineswegs immer der Fall ist (z.B. Banilower, Heck & Weiss, 2007; Penuel, Fishman, Yamaguchi & Gallagher, 2007).

³¹Bei Interventionsstudien mit Kontrollgruppen-Design ist die Bedeutung der Umsetzungstreue zur Sicherung der internen Validität und zur Replizierbarkeit der Befunde unverzichtbar. Aus genau diesem Grund liefern die gewonnenen Erkenntnisse jedoch kein Indiz für die Implementierung im Berufsalltag (Schrader et al., 2020).

³²Häufig liegt eine Wirksamkeitsanalyse der zugrundeliegenden Innovation (z.B. Problemlöseorientierung im Mathematikunterricht, forschendes Lernen in den Naturwissenschaften) vor. Strenggenommen kann jedoch nicht von der Wirksamkeit des Implementationsgegenstands direkt auf eine Wirksamkeit des Implementationsangebots geschlossen werden, was in vielen Untersuchungen allerdings nicht weiter diskutiert wird.

gerweise ein Qualitätskriterium dar. Somit kann eine geringe Nutzung bei einer unzureichenden Qualität der jeweiligen Unterrichtskonzeption auch ein Ausdruck der Professionalität einer Lehrperson sein (vgl. Kompetenz des evidenzbasierten Argumentierens nach Trempler et al., 2015).

Darüber hinaus wird zwar häufig von Materialentwickler*innen argumentiert, dass die von ihnen entwickelten materialgestützten Unterrichtskonzeptionen einen konstruktivistischen, forschend-entdeckenden und schüleraktivierenden Unterricht fördern sollen, aber es wird nicht erläutert, inwiefern die Materialien auch die Sicht der Lehrkräfte berücksichtigen (anders Schneider & Krajcik, 2002). Dem Modell der didaktischen Rekonstruktion zufolge müsste vor der didaktischen Strukturierung eine Erfassung der Lernendenperspektiven (in diesem Fall der Lehrkräfte) stattfinden (Fischler & Schröder, 2003; van Dijk & Kattmann, 2007), was in der Regel allerdings nicht erfolgt (vgl. Riegler, 2014). Hier scheinen viele Materialentwickler*innen ihren eigenen didaktischen Ansatz nicht zu Ende zu verfolgen. Wünschenswert wären daher Untersuchungen, die das Zusammenspiel möglichst vieler Faktoren, insbesondere der Vorstellungen und Erwartungen der Lehrkräfte, systematisch in den Blick nehmen.

Neben methodologischen Herausforderungen müssen auch kulturelle Unterschiede zwischen den verschiedenen Ländern als mögliche Einflussfaktoren des Nutzungsverhaltens betrachtet werden (c). Pepin und Haggarty (2001) stellten bei einem Vergleich von Mathematikschulbüchern aus den Ländern Frankreich, Deutschland und England landesspezifische Unterschiede in der Strukturierung und in den vorgeschlagenen Methoden fest. Auch Remillard, van Steenbrugge und Bergqvist (2014) berichten von Unterschieden zwischen Schulbüchern aus Belgien, Schweden und den USA, was den Grad der Offenheit anbelangt. Dies kann auf verschiedene Konventionen und Rollen der Lehrperson im Bildungssystem zurückgeführt werden (Westbury, Hopmann & Riquarts, 2015). Das schließt zwar einen länderübergreifenden Vergleich der Nutzung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen nicht grundsätzlich aus, sollte aber bei der Ergebnisbetrachtung als kontextueller Einflussfaktor berücksichtigt werden. In Deutschland können tatsächlich bereits Unterschiede zwischen den Bundesländern ausgemacht werden (Markic, Eilks, van Driel & Ralle, 2009; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012).

Die meisten Materialentwickler*innen haben das Ziel, dass die von ihnen entwickelten Unterrichtskonzeptionen erfolgreich im Unterricht implementiert werden. Die vorliegenden Studien und Forschungsarbeiten unterscheiden sich aber häufig darin, was für die Forschenden eine erfolgreiche Implementierung ausmacht bzw. ausmachen soll (d) (z.B. Songer & Gotwals, 2005; McNeill, Pimentel & Strauss, 2013). Remillard (2005) unterscheidet die Forschungsansätze (1) *following*, (2) *drawing on*, (3) *interpreting* und (4) *participating with curriculum materials*, welche sich in ihrer Zielsetzung,

Akzentuierung und Annahmen über die Rolle der Lehrperson unterscheiden. Bei *following* (1) wird davon ausgegangen, dass Lehrkräfte sich eng an einer Unterrichtskonzeption orientieren und daher die Materialien relativ gut den Unterrichtsverlauf abbilden, wohingegen bei *drawing on* (2) eine bereitgestellte Unterrichtskonzeption nur als eine von vielen Ressourcen für Lehrkräfte bei der Unterrichtsplanung angesehen wird. Bei den Ansätzen *interpreting* (3) und *participating with curriculum materials* (4) liegt der Fokus weniger auf dem Unterricht, sondern mehr auf der Lehrperson, wobei bei (4) im Gegensatz zu (3) noch stärker die wechselseitige Beziehung zwischen Lehrperson und Unterrichtskonzeption betrachtet wird. Da sich die verschiedenen Ansätze überlappen, ist eine eindeutige Einordnung einzelner Studien nicht immer möglich. Stattdessen soll mit dieser Unterscheidung vielmehr verdeutlicht werden, dass zum Teil sehr unterschiedliche Ausgangsvoraussetzungen in verschiedenen Studien zur Nutzung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen angenommen werden, sodass ein direkter Vergleich nicht immer möglich und eine differenzierte Auseinandersetzung erforderlich ist.

Daraus resultiert, dass es ebenfalls Unterschiede im Verständnis einer erfolgreichen Implementierung einer Unterrichtskonzeption in verschiedenen Studien gibt. Bspw. definieren Hall, Loucks, Rutherford & Newlove (1975) zwar sieben verschiedene Levels der Implementierung (*non-use, orientation, preparation, mechanical use, routine & refinement, integration* und *renewal*) mit zugehörigen Indikatoren, aber es bleibt unklar, ob unter „Nutzung der Innovation“ bereits das Entnehmen einzelner Elemente oder erst das Übernehmen des zugrundeliegenden Konzepts verstanden wird. Wie zuvor berichtet, fanden McNeill, Pimentel und Strauss (2013) heraus, dass Schüler*innen, welche von Lehrkräften unterrichtet werden, die sich mehr an einer bereitgestellten Unterrichtskonzeption orientieren, geringere Leistungen erbringen als diejenigen, welche von Lehrkräften unterrichtet werden, die freier mit der Unterrichtskonzeption umgehen.

Gleichwohl berichten Songer und Gotwals (2005) von einer anderen Unterrichtskonzeption, dass Schüler*innen, welche von Lehrkräften unterrichtet werden, die die bereitgestellte Konzeption vermehrt implementieren, signifikant besser komplexe naturwissenschaftliche Konzepte erlernen als die Schüler*innen, welche von Lehrkräften unterrichtet werden, die nur wenig der Konzeption umsetzen. Allerdings nehmen Songer und Gotwals (2005) nur eine grobe Einteilung in eine hohe und eine geringe Implementierung der bereitgestellten Unterrichtskonzeption anhand der Anzahl umgesetzter Arbeitsblätter vor (da keine Unterrichtsbeobachtungen durchgeführt wurden, liegen über die Implementierung im Unterricht keine weiteren Informationen vor). McNeill, Pimentel und Strauss (2013) gehen indes wesentlich differenzierter bei der Erfassung der Implementierung mithilfe verschiedener

Indikatoren vor. Anhand dieses Vergleiches wird deutlich, dass es wichtig ist, das jeweilige Verständnis von Implementierung zu explizieren, da zwischen einer oberflächlichen Übernahme von Arbeitsblättern, Texten etc. und einer tiefgehenden Auseinandersetzung mit dem Konzept und den verfolgten Zielen unterschieden werden muss.

Dabei handelt es sich jedoch nicht nur um eine Problematik des Begriffsverständnisses, sondern es kann aus wissenschaftlicher Sicht nicht abschließend beantwortet werden, was eine erfolgreiche Implementierung ausmacht, da ein Spannungsfeld zwischen Umsetzungstreue und Adaption besteht (vgl. Greenberg et al., 2005; Durlak & DuPre, 2008; Lendrum & Humphrey, 2012; Schrader et al., 2020).

3.3.6. Zwischenfazit

Aus diesen Erkenntnissen folgt für die vorliegende Arbeit, dass die Bereitstellung empirisch fundierter Unterrichtskonzeptionen einen erfolgversprechenden Weg für den Transfer fachdidaktischer Innovationen zur Verbesserung der Qualität schulischen Unterrichts darstellt. Es liegen bereits viele Interventionsstudien zu fachdidaktisch innovativen Unterrichtskonzeptionen vor, die deren Wirksamkeit belegen – allerdings besteht derzeit eine Transferproblematik, weshalb die Implementierung genauer untersucht werden sollte.

Auf Grundlage des bisherigen Forschungsstands konnten diverse Einflussfaktoren der Implementierung identifiziert werden, aber es mangelt an Studien, die die Wirkmechanismen während des Implementationsprozesses untersuchen. Insbesondere wenn Lehrkräfte die Wahl zwischen verschiedenen materialgestützten Unterrichtskonzeptionen haben und begründet zwischen deren Nutzung abwägen. So ließen sich konkretere Bedingungen ableiten, unter denen sich das Potential zur Verbesserung der Unterrichtsqualität solcher Materialien optimal entfalten kann.

Ferner konzentrieren sich viele der vorgestellten Studien auf die Materialnutzung im Fach Mathematik, sodass über die Implementierung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen in anderen Fächern bislang wenig bekannt ist. Um festzustellen, inwieweit die Erkenntnisse zum Mathematikunterricht auf andere Fächer übertragbar sind, sollte die Implementierung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen auch in anderen Fächern untersucht werden. Überdies liegt der Schwerpunkt des bisherigen Forschungsstands auf Grundschullehrkräften, sodass wenig Erkenntnisse zur Materialnutzung von Lehrkräften an weiterführenden Schulformen vorliegen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die diffuse Forschungslage es bisher nicht erlaubt, Hypothesen zum Wechselspiel der verschiedenen Faktoren der Nutzung innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen so konkret zu formulieren, dass sie einen Ausgangspunkt für systematische

quantitative Studien liefern. Als Zwischenschritt und zur Vorbereitung solcher Untersuchungen fehlen qualitative Studien, die die verschiedenen Faktoren des Implementationsprozesses gleichzeitig und aufeinander bezogen in den Blick nehmen.

Teil II.
Empirischer Teil

4. Ziele und Forschungsfragen

In der fachdidaktischen Lehr-Lern-Forschung werden materialgestützte Unterrichtskonzeptionen mit dem Ziel, die professionelle Kompetenz der Lehrkräfte, die Unterrichtsqualität und den Lernzuwachs der Schüler*innen zu verbessern, entwickelt und evaluiert. Aktuell existieren zahlreiche solcher Konzeptionen, deren Wirksamkeit in Interventionsstudien analysiert wurde (z.B. Müller, 2003; Tobias, 2010; Charalambous & Hill, 2012; Kleickmann et al., 2016; Arias et al., 2017; Burde, 2018).

Allerdings etablieren sich solche empirisch fundierten materialgestützten Unterrichtskonzeptionen nur selten nachhaltig in der Unterrichtspraxis. Es konnten zwar verschiedene Einflussfaktoren wie die professionelle Kompetenz der Lehrkräfte, die Gestaltung der materialgestützten Unterrichtskonzeptionen und externe Faktoren wie die Zusammenarbeit im Kollegium der Implementierung identifiziert werden (z.B. Schneider & Krajcik, 2002; Beerenwinkel & Gräsel, 2005; Remillard, 2005; Bergqvist & Bergqvist, 2017). Nichtsdestotrotz fehlen Untersuchungen zur Interdependenz dieser verschiedenen Einflussfaktoren (Durlak & DuPre, 2008; Schrader et al., 2020). Es herrscht ein Desiderat an Implementationsstudien, welche gezielt den Prozess der Implementation analysieren und untersuchen, unter welchen Bedingungen sich das Potential der Materialien zur Verbesserung des Unterrichts möglichst gut entfalten kann (Schrader et al., 2020). Aus dem bisherigen Forschungsstand können lediglich erste Vermutungen zum Prozess der Implementation und zum Nutzungsverhalten abgeleitet werden (Gregoire, 2003; Remillard, 2005). Weiterhin untersuchen viele der vorliegenden Studien das Nutzungsverhalten von Mathematiklehrkräften in der Grundschule – es fehlen jedoch Erkenntnisse über das Nutzungsverhalten von Lehrkräften anderer Fächer und Schulformen.

Die vorliegende Arbeit untersucht den Implementationsprozess und das Nutzungsverhalten im Fach Physik am Beispiel einer empirisch fundierten, fachdidaktisch innovativen materialgestützten Unterrichtskonzeption für das Gymnasium. In einem alltagsnahen Setting³³ wird der folgenden Frage nachgegangen: *Wie gehen Physiklehrkräfte mit einer empirisch fundierten, fachdidaktisch innovativen Unterrichtskonzeption um?* Diese Fragestellung wird durch die folgenden Unterfragen konkretisiert:

³³Das schließt u.a. mit ein, dass die Lehrkräfte auf weitere Materialien zurückgreifen können und begründet dazwischen abwägen.

- (1) Welche Personenmerkmale beeinflussen das Nutzungsverhalten?
- (2) Welche Auswahlkriterien legen Lehrkräfte allgemein an Materialien an und welche Merkmale der materialgestützten Unterrichtskonzeption haben Einfluss auf die Nutzung und Umsetzung durch die Lehrkräfte?
- (3) Welche von den Lehrkräften wahrgenommenen Rahmenbedingungen beeinflussen den Implementationsprozess?
- (4) Gibt es Interaktionseffekte zwischen den Merkmalen untereinander?
- (5) Können mithilfe des *Modells der Implementierung fachdidaktisch innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen* typische Handlungsmuster abgeleitet werden?

Zu diesem Zweck erscheint es zielführend, für den explorativen Erkenntnisgewinn ein qualitatives Studiendesign zu wählen (vgl. Abschnitt 3.3.6).

Die vorliegende Studie konzentriert sich auf die Nutzung einer ausgewählten empirisch fundierten, fachdidaktisch innovativen materialgestützten Unterrichtskonzeption, um die Vergleichbarkeit zwischen den teilnehmenden Lehrkräften zu erhöhen. Auf diese Weise ist es möglich, tiefgreifende Erkenntnisse zum Implementationsprozess zu gewinnen und das Zusammenspiel unterschiedlicher Personenmerkmale zu analysieren. Hierzu wird das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik exemplarisch gewählt (Müller, 2003). Dazu liegt bereits eine Interventionsstudie vor, welche die empirische Wirksamkeit der Konzeption belegt (Müller, 2003). Somit erfolgt die Untersuchung der Implementierung, wie in Abschnitt 3.3.5 gefordert, unabhängig vom Materialentwickler.

Damit soll diese Studie einen ersten Schritt bilden, Verbesserungsmöglichkeiten für die Gestaltung und Implementierung von empirisch fundierten materialgestützten Unterrichtskonzeptionen aufzuzeigen, damit solche Konzeptionen Lehrkräfte in ihrer Unterrichtsvorbereitung und Unterrichtsgestaltung optimal unterstützen und ihre unter kontrollierten Bedingungen nachgewiesene Wirksamkeit auch im Berufsalltag entfalten können. Somit soll dieses Forschungsvorhaben einen Beitrag für die Verbesserung des Transfers fachdidaktischer Innovation in die Schulpraxis leisten.

5. Forschungsdesign und Methode

Zur Klärung der Forschungsfragen wird ein Multi-Methods-Ansatz als qualitatives Forschungsdesign gewählt, welches in Unterkapitel 5.1 vorgestellt und begründet wird. Anschließend wird in Unterkapitel 5.2 der Auswahlprozess für das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik als exemplarische evidenzbasierte, fachdidaktisch innovative materialgestützte Unterrichtskonzeption beschrieben. Im Anschluss erfolgt eine detaillierte Vorstellung der Konzeption. In Unterkapitel 5.3 werden dann die gewählten Erhebungsinstrumente näher vorgestellt. Abschließend werden in Unterkapitel 5.4 die Rahmenbedingungen sowie der zeitliche Ablauf der Datenerhebung beschrieben.

5.1. Forschungsdesign

In diesem Unterkapitel werden aus dem Untersuchungsgegenstand resultierende methodologische Konsequenzen abgeleitet. Darauf aufbauend wird ein geeignetes Forschungsdesign zur Klärung der Forschungsfragen entwickelt. Zunächst gliedert sich die vorliegende Untersuchung in Anlehnung an die Forschungsfragen in die Erfassung von (1) personenbezogenen Merkmalen, (2) materialbezogenen Merkmalen, (3) externen Rahmenbedingungen, (4) Wechselwirkungsprozessen zwischen verschiedenen Einflussfaktoren der Materialnutzung und (5) interindividuellen Handlungsmustern (vgl. Kapitel 4). In vorangehenden Studien wurden bereits zahlreiche Einflussfaktoren der Implementierung fachdidaktischer Innovation identifiziert, die im Forschungsdesign der vorliegenden Arbeit Berücksichtigung finden sollen (vgl. Unterkapitel 3.3). Um weitergehende Erkenntnisse zu gewinnen, richtet sich der Fokus des Forschungsvorhabens auf das gesamte Set an Bedingungsfaktoren auf der Seite der Lehrperson, um das Wirkungsgefüge zwischen Personenfaktoren, Materialfaktoren und Kontextfaktoren zu analysieren. Zur Abgrenzung zu bereits existierenden Interventionsstudien, die die potentielle Wirksamkeit materialgestützter Unterrichtskonzeptionen unter quasi-experimentellen Bedingungen untersuchen, steht in der vorliegenden Studie weiterhin das

Nutzungsverhalten unter authentischen Bedingungen im Zentrum, um eine hohe ökologische Validität zu erreichen (vgl. Döring & Bortz, 2016).

Davon ausgehend soll nun ein geeignetes Forschungsdesign entwickelt werden. Aus den Ausführungen aus Kapitel 3 folgt, dass der derzeitige Forschungsstand zur Implementierung fachdidaktischer Innovation zu diffus ist, um Hypothesen für eine quantitative Prüfung zu formulieren. Vielmehr ist eine tiefgehende Analyse der verschiedenen Einflussfaktoren und insbesondere ihres Zusammenspiels erforderlich, weshalb folgerichtig ein qualitativer Forschungsansatz ausgehend von Fallstudien geeignet erscheint (vgl. Döring & Bortz, 2016). Das qualitative Design wird in Form eines Multi-Methods-Ansatzes sowie der *Grounded Theory* als Forschungsansatz realisiert, was im Folgenden näher erläutert wird.

Die Wahl fällt auf einen Multi-Methods-Ansatz, da durch die methodologische Triangulation von verschiedenen Erhebungsinstrumente die Bandbreite an Erkenntnissen und deren Aussagekraft erhöht wird. Nach Flick (2014, 419) „ist besonders aufschlussreich, wenn etwa die Beobachtung des Handelns der untersuchten Person Widersprüche zu ihren Aussagen in Interviews aufdeckt, und weniger, wenn das eine das andere nur bestätigt.“ Auf diese Weise soll die Diversität und Komplexität des Zusammenspiels verschiedener Einflussfaktoren bei der Implementierung fachdidaktischer Innovation erfasst werden (vgl. Schrader et al., 2020).

Die Untersuchung der verschiedenen Faktoren und Kontexteinflüsse erfordert zudem, dass der gesamte Implementationsprozess möglichst detailliert in den Blick genommen wird, also sowohl der erste Eindruck der Unterrichtskonzeption, die Nutzung in der Unterrichtsvorbereitung, die Implementierung im Unterricht als auch eine abschließende Bewertung erfasst werden. Als Kompromiss zwischen einer möglichst umfassenden Erfassung des gesamten Prozesses und untersuchungsökonomischen Gründen werden zu mehreren ausgewählten Zeitpunkten während des Implementationsprozesses Daten erhoben, worauf im weiteren Verlauf noch genauer eingegangen wird.

Für die konkrete Wahl geeigneter Erhebungsinstrumente zur Erfassung der Implementierung fachdidaktischer Innovation mittels materialgestützter Unterrichtskonzeptionen muss zunächst der Untersuchungsgegenstand klarer festgelegt werden. Dazu bedarf es konkrete fachdidaktisch innovative Unterrichtskonzeptionen zur Bereitstellung für die teilnehmenden Lehrkräfte. Für die Standardisierung der Studie wird exemplarisch *eine* fachdidaktisch innovative Unterrichtskonzeption ausgewählt. Die Vergleichbarkeit der Fälle ist insbesondere für die angestrebte Identifikation interindividueller Handlungsmuster zur Ableitung verallgemeinerbarer Erkenntnisse bedeutsam (vgl. Kuckartz, 2018). Um den fachdidaktisch innovativen Charakter, die Qualität der Innovation und die Repräsentativität der Unterrichtskonzeption sicherzustellen, erfolgt ihre Auswahl kriteriengeleitet, wobei die Kri-

terien zur Auswahl aus bestehenden Interventionsstudien und der Unterrichtsqualitätsforschung abgeleitet werden (vgl. Unterkapitel 5.2). Die Wahl fällt auf das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik (MILQ) (Müller, 2003). Um unter möglichst realitätsnahen Bedingungen zu untersuchen, wie der Transfer fachdidaktischer Innovation durch das Selbststudium von Lehrkräften vonstattengeht, wird den teilnehmenden Lehrkräften die ausgewählte Unterrichtskonzeption MILQ fakultativ zur Verfügung gestellt.

Weiterhin erfordert die Erfassung der Faktoren, die das Nutzungsverhalten von MILQ beeinflussen, geeignete Erhebungsinstrumente. Zu erfassen sind (a) Vorstellungen zum Lehren und Lernen sowie zur Materialnutzung, (b) Überlegungen und Entscheidungen der teilnehmenden Lehrkräfte bei der Unterrichtsplanung sowie (c) die abschließende Bewertung der bereitgestellten Unterrichtskonzeption MILQ und der Unterrichtsreihe. Hierfür werden halbstandardisierte Interviews, Unterrichtsbeobachtungen sowie Stimulated-Recall-Interviews als Erhebungsinstrumente gewählt, was im Folgenden kurz begründet und in Unterkapitel 5.3 weiter ausgeführt wird. Tabelle 5.1 bietet zudem einen Überblick darüber, welches Erhebungsinstrument welche Daten erfasst.

Halbstandardisierte Interviews eignen sich für die vorliegende Untersuchung insofern, da auf diese Weise Vorstellungen, Überlegungen, Bewertungen sowie Entscheidungen der teilnehmenden Lehrkräfte explorativ erfasst werden können (vgl. Helfferich, 2011; Krüger & Riemeier, 2014). Durch festgelegte Leitfragen wird eine Orientierung am bisherigen Stand der Forschung sowie die Vergleichbarkeit der Fälle gewährleistet, dennoch kann durch das offene Format individuell auf einzelne Personen eingegangen werden. Um sowohl den Planungsprozess als auch die Reflexion der teilnehmenden Lehrkräfte der gesamten Unterrichtsreihe und das abschließende Fazit zur bereitgestellten Unterrichtskonzeption zu erheben, wird ein halbstandardisiertes Interview zu Beginn und nach Beendigung der Unterrichtsreihe geführt.

Die Vorstellungen der Lehrkräfte könnten zwar alternativ mit einem Fragebogen erhoben werden, da aber zum jetzigen Zeitpunkt keine Vorstellungen zur Materialnutzung in Form eines Fragebogens vorliegen oder bekannt ist, welche curricularen Vorstellungen relevant für das Materialnutzungsverhalten von Lehrkräften sind, wird auf die Entwicklung eines Fragebogens verzichtet und die Abfrage im Interview gewählt. Im Übrigen wäre das Führen von Interviews für die Fragebogenentwicklung ohnehin erforderlich gewesen (vgl. Döring & Bortz, 2016).

Um weiterhin Informationen über das Unterrichtsgeschehen und die Umsetzung der bereitgestellten Konzeption im Unterricht zu erhalten, werden einige *Unterrichtsstunden videographiert* (vgl. Groeben et al., 1988; Döring & Bortz, 2016). Dies bietet zudem den Vorteil, sich nicht nur auf Selbstausskünfte der Lehrkräfte stützen zu müssen. Ziel der Unterrichtsvideographie

ist nicht, die Unterrichtsqualität zu erfassen, sondern die Materialnutzung im Unterricht zu beobachten und die teilnehmenden Lehrkräfte gegebenenfalls auf Diskrepanzen zwischen geäußerten Handlungsabsichten und beobachteten Unterrichtsentscheidungen anzusprechen. In der Pilotierung erwies sich die Videographie von zwei Unterrichtsstunden während der Unterrichtsreihe als zielführender Kompromiss zwischen einem Überblick über die Unterrichtsreihe und einer Reduktion des Erhebungsaufwands. Durch die Festlegung der Themen *lichtelektrischer Effekt* und *Welleneigenschaften von Elektronen* für die beiden Unterrichtsbeobachtungen wird zum einen die Breite der Unterrichtsreihe erfasst, da die Themen typischerweise über die Unterrichtsreihe verteilt liegen, sowie zum anderen die Vergleichbarkeit der Fälle erhöht.

Um, wie erwähnt, mehr Informationen zu Überlegungen und Entscheidungen bei der Nutzung der materialgestützten Unterrichtskonzeption MILQ zu erlangen, werden zusätzlich *stimulated recalls* zur Nachbesprechung der videographierten Unterrichtsstunden geführt (vgl. Abschnitt 2.2.3). Mittels Videoprompts aus dem Unterricht und unter der Vorlage eingesetzter Materialien wie Arbeitsblätter werden die teilnehmenden Lehrkräfte zur Reflexion des Unterrichtsgeschehens angeregt, welche aufgrund der eingesetzten Stimuli eine große Handlungsnähe der getätigten Aussagen gewährleistet (vgl. Groeben et al., 1988; Leuchter, 2009). Weiterhin können durch gezielte Nachfragen Wechselwirkungsprozesse zwischen verschiedenen Einflussfaktoren näher charakterisiert werden, indem bspw. gefragt wird, weshalb auf alternative Materialien zum bereitgestellten Unterrichtskonzept zurückgegriffen wurde.

Auch wenn davon ausgegangen werden kann, dass Lehrkräfte automatisierte Prozesse während der Planung und Durchführung von Unterricht nicht immer verbalisieren und im Nachhinein situationsgetreu wiedergeben können (vgl. Abschnitt 2.2.3), stellt die Kombination aus allgemeinen Interviews, der Videographie von Handlungssituationen und einer abschließenden Nachbesprechung in einem Stimulated-Recall-Interview einen guten Kompromiss im Umgang mit diesem allgemeinen methodologischen Problem dar (vgl. Groeben et al., 1988).

Eine Alternative bzw. eine Ergänzung zu den *stimulated recalls* würde die Methode des lauten Denkens während der Unterrichtsplanung sowie das Führen von Unterrichtstagebüchern zur Erfassung der Handlungsentscheidungen von Lehrkräften darstellen. Das laute Denken wird allerdings typischerweise bei offeneren Forschungsfragen eingesetzt (z.B. Bromme, 1981; Bromme & Hömberg, 1981; Tänzer, 2011; 2017), da hierbei keinerlei Lenkung des Forschenden vorgenommen wird. Darüber hinaus liefert das laute Denken keine Informationen zu Gedanken über den Planungsprozess hinaus, also etwa Denkprozesse während oder nach der Unterrichtsdurchführung. Unter-

Erhebungsinstrument	Erfasste Informationen
Einstiegsinterview	<ul style="list-style-type: none"> - Vorstellungen zum Lehren und Lernen - Vorgehen im Planungsprozess - Nutzung von Materialien - Erster Eindruck von MILQ
Unterrichtsvideographie	<ul style="list-style-type: none"> - Implementierung von Materialien im Unterricht - Nutzung von MILQ im Unterricht
Materialien sammeln	<ul style="list-style-type: none"> - Implementierung von Materialien im Unterricht - Nutzung von MILQ im Unterricht
<i>stimulated recall</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Retrospektiv genannte Handlungsentscheidungen - Retrospektive Handlungsbegründungen/Konsequenzen - Vorgehen bei der Auswahl der eingesetzten Materialien - Wahrgenommene Randbedingungen der Implementierung
Abschlussinterview	<ul style="list-style-type: none"> - Reflexion der Unterrichtsreihe und der Materialnutzung - Vorgehen für zukünftigen Quantenphysikunterricht - Meinung zum bereitgestellten Unterrichtskonzept

Tabelle 5.1.: Darstellung der erfassten Informationen je Erhebungsinstrument.

richtstagebücher können zwar Aufschluss über eine längere Zeitperiode über das Vorgehen in der Unterrichtsvorbereitung und Handlungsentscheidungen von Lehrkräften geben, liefern dabei allerdings rein deskriptive Befunde und dokumentieren zumeist eher Resultate und methodische Entscheidungen, als dass sie Überlegungen zur Auswahl von Materialien erfassen. Darüber hinaus entspricht eine Unterrichtsplanung begleitet mit lauten Denken oder dem Führen von Unterrichtstagebüchern nicht der gewohnten Handlungs-routine der Lehrkräfte, was zu einer Abweichung vom typischen Vorgehen führen könnte (vgl. Seel, 1997). Zudem soll der Eindruck einer Bewertungssituation wie im Referendariat mit Unterrichtsentwürfen und anschließendem Unterrichtsbesuch vermieden werden, um ein möglichst authentisches und alltagsnahes Setting zu erzeugen. Daher werden Interviews bzw. *stimulated recalls* als zielführender und gegenstandsangemessener für die Untersuchung der Forschungsfragen eingeschätzt, da diese neben dem Prozess der Unterrichtsplanung auch während des Unterrichts getroffene Entscheidungen und die Reflexion im Anschluss erfassen können sowie die Möglichkeit der Nachfrage besteht.

Gemäß der *Grounded Theory* werden im Verlauf der Untersuchung das Design und die Instrumente entwickelt und optimiert, da die Phasen der Datenerhebung, der Datenauswertung und der Interpretation nicht als getrennte, sondern als sich teilweise überlappende Arbeitsphasen durchlaufen werden, sodass sich die verschiedenen Phasen wechselseitig beeinflussen (vgl.

Unterkapitel 5.3).³⁴ Durch die verschiedenen Zyklen der Datenerhebung, der Datenauswertung und der Interpretation werden im ersten Durchlauf identifizierte Wirkmechanismen über den bisherigen Forschungsstand hinaus in den nachfolgenden Zyklen berücksichtigt (bspw. durch die Integration weiterer Fragen im Interviewleitfaden oder durch die induktive Kategorienbildung im Auswerteprozess) (vgl. Strübing, 2014; Kuckartz, 2018). Dieses Vorgehen ist weiterhin aus untersuchungsökonomischen Gründen vorteilhaft, da so trotz einer Weiterentwicklung der Erhebungsinstrumente Daten aus vorherigen Erhebungszyklen für die Ergebnisinterpretation ausgewertet werden können.

Im Folgenden wird darüber hinaus kurz begründet, warum auf die Erhebung weiterer Daten verzichtet wird. Eine Ergänzung der beschriebenen Erhebungsinstrumente bildet die explizite Erhebung des professionellen Wissens der teilnehmenden Lehrkräfte. Das wäre durchaus erstrebenswert, da das professionelle Wissen, wie in Abschnitt 3.3.3 beschrieben, Einfluss auf die Nutzung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen hat. Es existieren allerdings keine validierten Professionswissenstests zur Quantenmechanik für Lehrkräfte,³⁵ was aus untersuchungsökonomische Gründe gegen eine Erhebung des Professionswissens spricht. Darüber hinaus wäre eine statistischen Analyse wegen der kleinen Fallzahlen nicht möglich. Optional könnten Tiefeninterviews zur Erfassung des Professionswissens geführt werden, was wiederum aufgrund von untersuchungsökonomischen Gründen und der mangelnden Passung zum eigentlichen Untersuchungsgegenstand nicht angemessen erscheint. Überdies besteht bei einer expliziten Erhebung des Professionswissens ein Akzeptanzproblem seitens der Lehrkräfte aufgrund einer wahrgenommenen Prüfungssituation. Aus diesem Grund wird die explizite Erhe-

³⁴Bei der Grounded-Theory-Methodologie handelt es sich um einen Forschungsstil für die Auswertung qualitativer Daten, dessen Ziel es ist, eine realitätsnahe Theorie aus der Praxis zu entwickeln. Dieser Ansatz bietet viele Anwendungsmöglichkeiten, da keinerlei Einschränkungen zur Datengewinnung vorliegen (Strübing, 2014). Nach der Entwicklung von Glaser und Strauss in den 70er Jahren kam es zum Diskurs zwischen den beiden Gründern, wobei Glaser „einen in der Wissenschaftstheorie längst überwundenen, naiven Induktionismus vertritt“ (Strübing, 2014, 458). In der vorliegenden Untersuchung wird die Variante nach Strauss und Corbin (1996) gewählt, welche den Einbezug deduktiver Erkenntnisse als unumgänglich erachtet.

³⁵Krijtenburg-Lewerissa, Pol, Brinkman und van Joolingen (2017) sowie Scotti di Uccio, Colantonio, Galano, Marzoli, Trani und Testa (2019) stellen zwar verschiedene englischsprachige Fachwissenstests zur Quantenphysik vor, allerdings haben diese entweder einen sehr spezifischen Fokus auf die Quantenphysik oder sind nicht ausreichend validiert. Darüber hinaus richten sich die vorgestellten Testinstrumente an Studierende und verfolgen daher eine andere Intention, als dies in der vorliegenden Studie der Fall ist (bspw. die Erfassung des Verständnisses der Studierenden, um unterschiedliche Lehransätze an der Universität miteinander zu vergleichen). Validierte fachdidaktische Wissenstest zur Quantenphysik sind mir des Weiteren nicht bekannt.

bung des Professionswissens verworfen und lediglich aufgrund der Aussagen und Handlungen der Lehrkräfte indirekt darauf geschlossen.

Eine weitere Option stellt die Durchführung von Prä-Post-Tests der Schüler*innen zur Überprüfung des Lernzuwachses dar. Das birgt das Potential, zusätzliche Hinweise auf die Intensität bzw. die Art und Weise der Umsetzung zu erhalten. Weiterhin könnte somit die Unterrichtsqualität mit dem Grad der Implementation verglichen werden.³⁶ Der Kompetenzerwerb der Schüler*innen könnte allerdings aufgrund der Komplexität von Unterricht nicht ohne Weiteres mit Nutzung der bereitgestellten Unterrichtskonzeption durch die Lehrkraft in Verbindung gesetzt werden (vgl. Kleickmann et al., 2016). Der Mehrwert einer solchen Analyse für Rückschlüsse auf die Materialnutzung der Lehrkräfte wird daher im Vergleich zum erforderlichen erhebungstechnischen Aufwand als unzureichend angesehen, weshalb auf die Durchführung von Leistungstests der Schüler*innen ebenfalls verzichtet wird.

Eine Schwäche des gewählten Designs ist überdies, dass nur die Implementierung einer speziellen Unterrichtskonzeption untersucht wird. Eine Erweiterung des gewählten Forschungsansatzes bildet der Vergleich der Implementierung mehrerer Unterrichtskonzeptionen in einem Vergleichsgruppen-Design. Das böte den Vorteil, dass Vergleiche zwischen der Nutzung unterschiedlich gestalteter Unterrichtskonzeptionen und dadurch aussagekräftigere Rückschlüsse auf den Einfluss von Materialmerkmalen möglich wären. Allerdings würden dazu verschieden aufbereitete Materialien mit derselben zugrundeliegenden fachdidaktischen Innovation benötigt, um trotz einer Varianz des Materialangebots eine Vergleichbarkeit des Nutzungsverhaltens zu gewährleisten. Da jedoch bislang weitergehende Erkenntnisse zur Materialnutzung fehlen, um gezielt für die Nutzung entscheidende Unterschiede in der Aufbereitung der Materialien zu entwickeln, wird auch dieser Ansatz in der vorliegenden Arbeit nicht weiterverfolgt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der gewählte qualitative Multi-Methods-Ansatz die Untersuchung des gesamten Wirkungsgefüges verschiedener Einflussfaktoren der Implementierung fachdidaktischer Innovation sowie eine tiefgreifende Analyse des Implementationsprozesses zur Klärung der Forschungsfragen ermöglicht. Weiterhin können aufgrund der Vergleichbarkeit der Fälle aus einer Gegenüberstellung und Gruppierung unterschiedlicher Personen interindividuelle Handlungsmuster abgeleitet werden, sodass ein über deskriptive Befunde hinausgehendes Erklärungspotential erzielt werden kann (vgl. Kuckartz, 2018). So können trotz einer niedrigen Fallzahl, welche im Aufwand des qualitativen Vorgehens begründet liegt, gene-

³⁶Eine Untersuchung der Effektivität des bereitgestellten Unterrichtskonzepts im Vergleich zum traditionellen Lernweg ist indes hinfällig, da bereits Müller (2003) eine Wirksamkeitsanalyse von MILQ durchführte.

ralisierbare Erkenntnisse abgeleitet werden (Petri, 2014). Weiterhin können durch die Kombination von Interviews, Unterrichtsbeobachtungen und dem Sammeln von im Unterricht eingesetzten Materialien die jeweiligen Vorteile der einzelnen Erhebungsinstrumente genutzt und mögliche Nachteile ausgeglichen oder zumindest abgeschwächt werden.³⁷ Darüber hinaus hat sich die Verknüpfung unterschiedlicher Erhebungsinstrumente bereits für die explorative Identifikation von Einflussfaktoren der Implementierung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen bewährt (z.B. Remillard, 1999; Schneider & Krajcik, 2002; Collopy, 2003; Drake & Sherin, 2006; Roehrig, Kruse & Kern, 2007; Vos et al., 2011; Charalambous & Hill, 2012; Bismack et al., 2015; Davis et al., 2017; Pringle, Mesa & Haynes, 2017).

5.2. Auswahl der bereitgestellten materialgestützten Unterrichtskonzeption

Für die Untersuchung des Implementationsprozesses evidenzbasierter, fachdidaktisch innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen wird, wie in Unterkapitel 5.1 beschrieben, eine geeignete Unterrichtskonzeption benötigt. Dieser Auswahlprozess wird im Folgenden dargestellt und begründet. Dazu werden in einem ersten Schritt Auswahlkriterien aufgestellt und auf mehrere evidenzbasierte, fachdidaktisch innovative materialgestützte Unterrichtskonzeptionen angewendet (Abschnitt 5.2.1). Bei der ausgewählten Konzeption handelt es sich um das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik. Dieses wird in einem weiteren Schritt detailliert vorgestellt, um die Qualität und Eignung für das vorliegende Forschungsvorhaben zu belegen (Abschnitt 5.2.2). Dazu wird auf die Sachstruktur im Vergleich zu herkömmlichen Schulbüchern eingegangen, um das fachdidaktische Innovationspotential aufzuzeigen. Weiterhin werden die strukturelle Zusammensetzung des Materialpakets und die Ergebnisse der Evaluation beschrieben. Abschließend erfolgt eine Einordnung des Themas *Quantenphysik* in die Schulphysik, um auch die fachliche Eignung des Gegenstands der Unterrichtskonzeption zu demonstrieren.

5.2.1. Auswahlkriterien

Aus dem Forschungsziel werden Kriterien für die Auswahl einer materialgestützten Unterrichtskonzeption abgeleitet. Daraus ergeben sich zum einen Kriterien, die inhaltlich aus dem Forschungsgegenstand folgen. Dazu zählt

³⁷Dazu schreibt Kagan (1990, 459): „[T]he use of multimethod approaches appears to be superior, not simply because they allow triangulation of data but because they are more likely to capture the complex, multifaceted aspects of teaching and learning.“

(1) die theoretisch begründete fachdidaktische Innovation der Unterrichtskonzeption (zur Definition von fachdidaktischer Innovation vgl. Kapitel 2). Diese Innovation sollte auf eine Verbesserung der Unterrichtsqualität abzielen (vgl. Unterkapitel 2.1) und sie auch nachgewiesenermaßen erhöhen können, weshalb (2) die Wirksamkeit der Unterrichtskonzeption bereits empirisch durch eine Interventionsstudie belegt sein sollte (bspw. durch einen Zuwachs an inhaltsbezogenen, prozessbezogenen bzw. affektiven Kompetenzen der Schüler*innen im Vergleich zum traditionellen Lernweg).

Zum anderen werden Kriterien aus untersuchungspraktischen Gründen aufgestellt. Die in der vorliegenden Studie bereitgestellte Unterrichtskonzeption sollte (3) sowohl Vorschläge und Anregungen für Lehrkräfte liefern als auch den Lehrkräften Entscheidungsspielräume lassen. Denn bei zu engen Vorgaben bestehen wenig Variationsmöglichkeiten im Umgang, was eine Analyse des Zusammenspiels unterschiedlicher Faktoren erschwert. Ferner ist aus dem derzeitigen Forschungsstand bekannt, dass Lehrkräfte unterschiedliche Materialien teilweise sehr verschieden nutzen (vgl. Abschnitt 3.3.3), weshalb die ausgewählte Unterrichtskonzeption (4) ein reichhaltiges Materialpaket aus verschiedenen Elementen wie Texten für Schüler*innen, Arbeitsblättern, Experimentiervorschlägen, Hintergrundinformationen für Lehrkräfte etc. bereithalten sollte, um ebenfalls eine größere Diversität bzw. Varianz des Nutzungsverhaltens zu provozieren. Weiterhin kann aus vorangehenden Untersuchungen abgeleitet werden, dass bei Lehrkräften (5) Bedarf nach neuen Materialien besteht, wenn diese ein für Lehrkräfte fachlich anspruchsvolles Thema unterrichten sollen oder es bspw. aufgrund von Lehrplanänderungen zu einer Umstellung der Unterrichtspraxis kommt (vgl. Abschnitt 3.3.3). So soll die Teilnahmebereitschaft der Lehrkräfte erhöht werden. In jedem Fall sollte die ausgewählte Unterrichtskonzeption kompatibel zum Kerncurriculum sein. Dazu wird der Kernlehrplan NRW (KLP NRW, 2014) als Bezugspunkt genommen, da die meisten der teilnehmenden Lehrkräfte in NRW rekrutiert werden sollen. Darüber hinaus sollte ausreichend Gelegenheit für die Beobachtung und Untersuchung des Implementationsprozesses bestehen, weshalb (6) der Zeitumfang der Unterrichtsreihe des bereitgestellten Konzepts mindestens zehn Unterrichtsstunden betragen sollte.

Durch Recherchieren nach Materialentwicklungsprojekten in der physikdidaktischen Forschung entstand eine Auswahl prominenter materialgestützter Unterrichtskonzeptionen:

- (1) das Spiralcurriculum Magnetismus (Wodzinski & von Aufschnaiter, 2014),
- (2) das Druckkonzept nach Wodzinski (2007),
- (3) der Münchener Mechanikkurs (Wiesner et al., 2016),

- (4) das Münchener Energiekonzept (Bader, 2001),
- (5) das Unterrichtskonzept zur Quantenphysik in der 10. Klasse (Schorn & Wiesner, 2008),
- (6) das Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik für die Oberstufe (Müller, 2003) und
- (7) die Einführung in die Elektrizitätslehre (Koller & Waltner, 2008).

Diese Auflistung ist zweifelsohne unvollständig, aber sie genügt dem hier verfolgten Ziel, ein mögliches Unterrichtskonzept für diese Untersuchung auszuwählen. Mithilfe des aufgestellten Kriterienkatalogs wird nun die Auswahl an Unterrichtskonzeptionen analysiert. Die im Folgenden vorgestellte Analyse der ausgewählten Unterrichtskonzeptionen (vgl. Tab. 5.2) erhebt nicht den Anspruch, die verschiedenen Unterrichtskonzeptionen hinsichtlich ihrer Qualität zu bewerten, sondern zielt auf eine Beurteilung der Eignung für die Verwendung in der vorliegenden Arbeit unter Berücksichtigung der Forschungsfragen.

Auswahlkriterium:	1	2	3	4	5	6
1) Spiralcurriculum Magnetismus	Ja	Ja	Nein	Ja	?	Ja
2) Druckkonzept	Ja	Ja	Ja	Nein	?	Ja
3) Mechanikkurs	Ja	Ja	?	Ja	?	Ja
4) Energiekonzept	Ja	Ja	Ja	Ja	?	Ja
5) QM-Konzept 10. Klasse	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
6) QM-Konzept Oberstufe	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja ³⁸	Ja
7) Einführung in die E-Lehre	Ja	Ja	Nein	?	Nein	Ja

Tabelle 5.2.: Analyse der ausgewählten Unterrichtskonzeptionen hinsichtlich der aufgestellten Auswahlkriterien: (1) theoretisch begründete fachdidaktische Innovation, (2) empirisch belegte Wirksamkeit, (3) Adaptierbarkeit, (4) strukturelle Zusammensetzung, (5) Bedarf von Lehrkräften und (6) zeitlicher Umfang.

Das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik in der Oberstufe erfüllt als einzige Konzeption alle aufgestellten Kriterien, weshalb es final für die Bereitstellung in der hier vorgestellten Studie ausgewählt wird. Dies wird im folgenden Abschnitt entlang der aufgestellten Kriterien ausführlicher begründet.

³⁸Aufgrund einer Umstellung des Kerncurriculums in NRW für den Grundkurs mit 25 verpflichtenden Schlüsselexperimenten (QUA-LIS-NRW, 2019) wenige Jahre vor Studienbeginn kann davon ausgegangen werden, dass viele Lehrkräfte das erste Mal nach den neuen Vorgaben des Kerncurriculums unterrichten und ihnen somit ein dazu ausgearbeitetes Unterrichtskonzept fehlt. Ein zur Beratung herangezogener Physik-Fachleiter teilt diese Einschätzung.

5.2.2. Das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik

Müller und Wiesner (2000) entwickelten das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik (MILQ)³⁹ für die gymnasiale Oberstufe mit dem Ziel, das Neue der Quantenphysik⁴⁰ im Gegensatz zur klassischen Physik stärker hervorzuheben (vgl. Müller, 2003). Die Einteilung in einen Basiskurs und einen Aufbaukurs soll einen Einsatz sowohl im Grundkurs als auch im Leistungskurs ermöglichen (Müller, 2003). Das Unterrichtskonzept ist unter dem folgenden Link online verfügbar und kann heruntergeladen werden: www.milq.info.

Im Folgenden wird das ausgewählte Unterrichtskonzept entlang der Kriterien *theoretisch begründete fachdidaktische Innovation, empirisch belegte Wirksamkeit, Adaptierbarkeit, strukturelle Zusammensetzung, Bedarf von Lehrkräften* und *zeitlicher Umfang* vorgestellt.

Theoretisch fundierte fachdidaktische Innovation

Die fachdidaktische Innovation des Unterrichtskonzepts MILQ besteht darin, das konzeptuelle Verständnis der Schüler*innen zu fördern, indem ein fachlich kohärenter Weg für das Unterrichten von Quantenphysik aufgezeigt wird, der typische Schülervorstellungen zur Quantenphysik berücksichtigt. Dadurch soll Lehrkräften eine Erhöhung der kognitiven Aktivierung der Schüler*innen ermöglicht werden (vgl. Unterkapitel 2). Das Unterrichtskonzept zielt insbesondere darauf ab, vor diesem Hintergrund Lehrkräfte in ihrer unterrichtlichen Handlungspraxis zu unterstützen. Um den innovativen Charakter des Konzepts zu verdeutlichen, wird im Folgenden die Sachstruktur des Unterrichtskonzepts ausführlicher dargestellt und der Kontrast zum traditionellen Lernweg anhand der exemplarischen Sachstrukturanalyse dreier gängiger Schulbücher herausgearbeitet.

Um das qualitative und konzeptuelle Verständnis der Schüler*innen zu fördern, berücksichtigt MILQ typische Schülervorstellungen zur Quantenphysik, indem der Schwerpunkt des Basiskurses auf die Begriffsbildung und die Behandlung von Interpretationsfragen gelegt wird (Müller & Wiesner, 2000).⁴¹ Dadurch wird das Neue der Quantenphysik betont. Zudem liegt dem gesamten Konzept die Ensemble-Interpretation, welche als gut geeignet für die Schule gilt (Wiesner & Müller, 1996), als Minimalinterpretation der Quantenphysik zugrunde, um bei den Schüler*innen ein kohärentes Ver-

³⁹Das Akronym *MILQ* steht für Münchener Internetprojekt für das Lernen von Quantenmechanik.

⁴⁰Im Folgenden werden die Begriffe *Quantenmechanik*, *Quantenphysik* und *Quantentheorie* synonym verwendet.

⁴¹Im späteren Verlauf werden konkrete Schülervorstellungen vorgestellt.

ständnis zu erzeugen. Das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik gliedert sich in die folgenden Kapitel:

Basiskurs:

1. Deutung des Photoeffekts
2. Präparation dynamischer Eigenschaften
3. Wellen und Teilchen
4. Statistische Aussagen der Quantentheorie
5. Elektronen als Quantenobjekte
6. Der quantenmechanische Messprozess
7. Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation

Aufbaukurs:

8. Schrödinger Gleichung
9. Atome

Thematisch beginnt MILQ mit dem Konzept der Photonen als Einleitung in die Quantenphysik. Dazu werden zunächst der Hallwachs-Versuch und daran anschließend der Photoeffekt vorgestellt und erläutert. Durch den linearen Zusammenhang zwischen der Photonenenergie und der Frequenz des Lichts wird der Widerspruch zur klassischen Physik am Beispiel des Photoeffekts demonstriert. Der scheinbare Konflikt zu den Welleneigenschaften von Licht wird frühzeitig thematisiert und durch die qualitative Einführung der Born'schen Wahrscheinlichkeitsinterpretation gelöst. Somit wird die Quantenphysik als neue Theorie eingeführt, welche neben dem Teilchenverhalten von Licht auch Interferenzerscheinungen erklären kann. Dies soll einem naiven Verständnis des Welle-Teilchen-Dualismus vorbeugen.

Anschließend werden im Sinne einer begrifflichen Klärung die Begriffe *Präparation* und *Eigenschaft* erörtert (Abb. 5.1). Da die Quantenphysik für Schüler*innen eine neue Theorie darstellt, ist die Bereithaltung und Definition von Begriffen zur Abgrenzung zur klassischen Physik zentral, insbesondere weil viele Verständnisprobleme der Quantenphysik auf begrifflichen Unklarheiten beruhen (Müller & Schecker, 2018). Durch den Vergleich zur klassischen Physik wird das Neuartige der Quantenphysik herausgearbeitet – bspw. dass Quantenobjekten wohldefinierte klassische Eigenschaften wie Ort, Impuls oder Energie nicht immer zugeschrieben werden können. Dadurch wird versucht, semiklassischen Denkweisen entgegenzuwirken.

Präparation dynamischer Eigenschaften

Physikalische Objekte, die in einem Experiment untersucht werden sollen, müssen vorher in einen vom Experimentator genau bestimmten Zustand gebracht werden. Es müssen kontrollierte *Anfangsbedingungen* hergestellt werden. Will man beispielsweise in der Mechanik das Gesetz für die Bahnkurve des horizontalen Wurfs überprüfen, muss eine Abschussvorrichtung hergestellt werden, die es erlaubt, Kugeln gleicher Masse mit möglichst identischen Anfangswerten von Ort und Geschwindigkeit abzuschießen (Abb. 2.1).

Ein Verfahren, mit dem Objekte in einen bestimmten Zustand gebracht werden, nennt man **Präparation**. Durch Präparation stellt man physikalische Systeme mit bestimmten **Eigenschaften** her. Die Abschussvorrichtung beim horizontalen Wurf präpariert z. B. Kugeln mit den beiden Eigenschaften „befindet sich am Abschussort (x_0, y_0) “ und „besitzt die Abschussgeschwindigkeit (v_{x0}, v_{y0}) “.

Die durch Präparation hergestellten Eigenschaften sind nicht unveränderlich. Deshalb werden sie als „dynamische Eigenschaften“ bezeichnet. Im Gegensatz dazu sind z. B. Ladung und Ruhemasse eines Elektrons unveränderlich, es handelt sich um unveränderliche Eigenschaften.

In der klassischen Physik ist das Präparieren von Eigenschaften physikalischer Objekte so selbstverständlich, dass selten ausführlicher darauf eingegangen wird. Dagegen tauchen in der Quantenphysik neue Phänomene auf, die es nötig machen, den Begriff der dynamischen Eigenschaft neu zu überdenken. Daher sollen in diesem Abschnitt die begrifflichen Grundlagen behandelt werden, die es ermöglichen, einen Zugang zu den neuartigen Problemen der Quantenphysik zu finden.

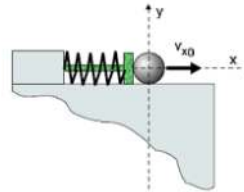


Abbildung 2.1: Präparation von Ort und Geschwindigkeit beim horizontalen Wurf

Abbildung 5.1.: Textausschnitt aus MILQ zur Begriffsbildung durch die Definition der Begriffe Präparation und Eigenschaft sowie durch die Abgrenzung zur klassischen Physik.

Danach werden im Unterrichtskonzept einzelne Photonen im Mach-Zehnder-Interferometer untersucht. So soll verdeutlicht werden, dass ein interferenzfähiges Photon nicht als lokales Objekt beschrieben werden kann, es aber durchaus möglich ist, ein Photon in einer Messung zu lokalisieren. Somit wird die Zuschreibung von Wellen- und Teilcheneigenschaften von Quantenobjekten vertieft. Dieser Versuch ist als Simulation im Konzept enthalten. Im Anschluss wird auch der Doppelspalt-Versuch mit einzelnen Photonen behandelt, sodass die statistischen Aussagen der Quantentheorie qualitativ besprochen werden können. Auch zu diesem Versuch ist eine Simulation vorhanden (vgl. Abb. 5.2).

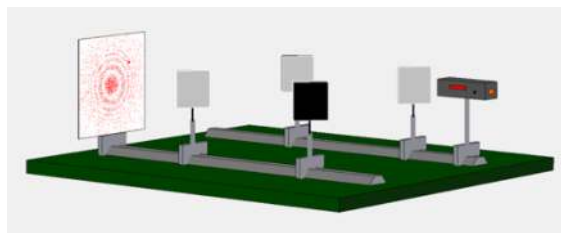


Abbildung 5.2.: Screenshot aus der Simulation zum Mach-Zehnder-Interferometer.

Nach der Behandlung von Photonen werden Elektronen als Quantenobjekte eingeführt. In einem spiralcurricularen Aufbau werden die gleichen Effekte wie für Photonen bearbeitet, um ein tieferes Verständnis der Eigenschaften

von Quantenobjekten anzubahnen. In einem ersten Schritt wird der Gegensatz zur klassischen Physik durch die Elektronenbeugungsröhre aufgezeigt. Danach werden ausführlich einzelne Elektronen am Doppelspalt mithilfe der Simulation zum Doppelspalt, welche auch die Interferenz von Elektronen visualisieren kann, behandelt. Anhand dessen wird erläutert, dass Elektronen per se wohldefinierte Eigenschaften aus der klassischen Physik nicht besitzen, aber durchaus so präpariert werden können, dass sie diese Eigenschaften haben (Müller, Berger & Wiesner, 1998). Damit werden erneut Interpretationsfragen thematisiert.

In diesem Kontext wird die Born'sche Wahrscheinlichkeitsinterpretation abermals behandelt. Mithilfe einer qualitativen Formulierung der Wahrscheinlichkeitsfunktion wird der Zusammenhang zwischen der Wellenfunktion und der Wahrscheinlichkeit, ein Quantenobjekt an einem bestimmten Ort nachzuweisen, hergestellt. Dadurch wird die wellenhafte Ausbreitung mit dem teilchenhaften Nachweis von Quantenobjekten verknüpft, sodass wiederum der Welle-Teilchen-Dualismus thematisiert und aufgelöst wird. Die aufgestellte Wahrscheinlichkeitsfunktion wird auf den Doppelspalt angewendet, um auch mathematisch zu erklären, dass die Interferenz am Doppelspalt nicht durch die Summe der Interferenzbilder zweier Einzelspalte erklärt werden kann, wie es in der klassischen Physik der Fall ist.

In einem weiteren Schritt wird der quantenmechanische Messprozess erörtert. Dazu wird gemäß der Komplementarität erläutert, dass Ortseigenschaften und Interferenzphänomene von Quantenobjekten nicht gleichzeitig realisierbar sind. Es wird betont, dass eine Messung kein passiver Prozess ist, sondern ihr eine Wechselwirkung mit dem zu beobachtenden Objekt zugrundeliegt und daher einen Eingriff in die Ereignisse darstellt. Anschließend wird zur Überlagerung von Zuständen und der Zustandsreduktion durch den Messprozess übergeleitet. In diesem Zusammenhang werden Schrödingers Katze und Dekohärenz als Auflösung des Messparadoxons thematisiert (Müller & Wiesner, 2002).

Danach wird die Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation, welche mit Bedacht nicht als „Unschärferelation“ bezeichnet wird, eingeführt. Die Einführung erfolgt zunächst mittels eines Gedankenexperiments am Einzelspalt: Je schmaler ein Einzelspalt wird, desto mehr wird das Licht gebeugt. Dieses Gedankenexperiment kann mithilfe der Simulation zum Doppelspalt durch Verschließen eines Spalts auch realisiert werden. Daraufhin erfolgt auch eine quantitative Abschätzung der Unbestimmtheitsrelation. Es wird das Fazit gezogen, dass einem Quantenobjekt – anders als in der klassischen Physik – keine feste Bahn zugeordnet werden kann. An dieser Stelle endet der auf ein konzeptuelles Verständnis abzielende Basiskurs.

Der darauffolgende Aufbaukurs vertieft dieses Verständnis und führt zum quantenmechanischen Formalismus hin. Der Aufbaukurs ist für eine Behand-

lung im Leistungskurs gedacht. Zuerst wird die bislang qualitativ betrachtete Wellenfunktion nun auch quantitativ aufgestellt. Danach werden mathematische Operatoren eingeführt und als Beispiele die Operatoren der kinetischen Energie und der Gesamtenergie betrachtet. Anschließend wird die stationäre Schrödinger-Gleichung als „Grundgleichung der Quantenmechanik“ erarbeitet. Diese wird für das Potential des Wasserstoffatoms exemplarisch gelöst, wobei die Quantisierung der Energie betont wird. Gleichzeitig wird auch der Tunneleffekt dargestellt und in Form einer Potentialbarriere mithilfe der Schrödinger-Gleichung berechnet. Dazu werden die Anwendungen bei Feldelektronenmikroskopen und bei Rastertunnelmikroskopen sowie der Bezug zum Alpha-Zerfall gezeigt.

Abschließend wird der Aufbau von Atomen behandelt. Dazu werden Linienspektren untersucht und mithilfe des Bohr'schen Atommodells erläutert. Das Bohr'sche Atommodell wird jedoch ausführlich im Kapitel „Abschied vom Bohr'schen Atommodell“ diskutiert, um die Grenzen des Modells aufzuzeigen und typischen Schülervorstellungen diesbezüglich entgegenzuwirken. Es folgt die Überleitung zum Orbitalmodell. Zur phänomenologischen Betrachtung wird der Franck-Hertz-Versuch gezeigt. Es folgt eine ausführliche Betrachtung des Wasserstoff-Atoms, wobei absichtlich kein Bezug mehr auf das Bohr'sche Atommodell genommen wird. An dieser Stelle endet das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenphysik.

In dem Kurs werden bewusst die Themen *Einstein-Podolsky-Rosen-Paradoxon*, *Bell'schen Ungleichungen* und *Nichtlokalität* weggelassen, da diese Bereiche nach Einschätzung von Müller und Wiesner (2002) außerhalb des Schulniveaus liegen. Der Compton-Effekt wird zudem aus zeitlichen Gründen ebenfalls nicht behandelt.

Nach der Vorstellung der Sachstruktur des Münchener Unterrichtskonzepts zur Quantenmechanik soll diese nun mit der Sachstruktur, welche typischerweise in Schulbüchern zu finden ist, verglichen werden. Dazu werden exemplarisch die Schulbücher Metzler-Physik (Grehn, 2014), Dorn/Bader (Bader, 2014) und Impulse Physik (Bredthauer, 2009) herangezogen.⁴² Es können zwei unterschiedliche Vorgehensweisen in den Schulbüchern identifiziert werden. Der Dorn/Bader und der Metzler wählen bis auf Details die gleiche Themenabfolge, das Schulbuch Impulse Physik eine andere.

Beim Dorn/Bader und Metzler wird wie bei MILQ der photoelektrische Effekt als Einstieg in die Quantenphysik gewählt. Es wird explizit der Gegensatz zur klassischen Physik aufgezeigt. In beiden Schulbüchern wird – anders als bei MILQ – darüber hinaus die Umkehrung des lichtelektrischen Effekts bei der Röntgenbremsstrahlung und bei Leuchtdioden sowie der Compton-Effekt behandelt. Daraufhin folgt die Betrachtung von einzelnen Photonen

⁴²Müller (2003) stellt den traditionellen Lernweg am Beispiel des Dorn/Bader von 1977 vor.

am Doppelspalt und die Formulierung der Wahrscheinlichkeitsinterpretation. Es wird erläutert, dass es sich bei Photonen weder um klassische Teilchen noch um klassische Wellen handeln kann. Beim Dorn/Bader werden die Interferenzerscheinungen am Doppelspalt auch mithilfe des Zeigermodells begründet. Zusätzlich werden beim Dorn/Bader auch noch einzelne Photonen im Mach-Zehnder-Interferometer betrachtet, um das Prinzip der Superposition zu demonstrieren.

Anschließend leiten beide Schulbücher zum Elektron als Quantenobjekt über und beginnen dabei wie MILQ mit der Elektronenbeugungsröhre. Die Überlegungen zur Wahrscheinlichkeitsinterpretation werden auch auf das Elektron übertragen. Im Metzler werden außerdem noch Elektronen am Doppelspalt untersucht. Im Anschluss folgt in beiden Schulbüchern die „Heisenberg’sche Unbestimmtheitsrelation“ (Dorn/Bader) bzw. das „Unschärfeprinzip“ (Metzler). Beim Metzler gibt es zusätzlich einen Exkurs „Interpretationsprobleme der Quantenphysik“. Danach wird der Aufbau von Atomen nachvollzogen, wozu zunächst das Bohr’sche Atommodell und daran anknüpfend der Franck-Hertz-Versuch behandelt werden. Anschließend werden stationäre Zustände im unendlich hohen, linearen Potentialtopf mithilfe der Schrödinger-Gleichung bestimmt. Zum Abschluss wird der Tunneleffekt und dessen Anwendung beim Rastertunnelmikroskop thematisiert.

Zusammenfassend kann zur Sachstruktur des Dorn/Bader und des Metzler festgehalten werden, dass in beiden Schulbüchern ähnlich wie MILQ die Neuartigkeit der Quantenphysik gleich zu Beginn betont wird. Daraufhin wird die Quantentheorie axiomatisch erarbeitet.

Das Schulbuch Impulse Physik behandelt bis auf kleine Abweichungen dieselben Themen, die Abfolge unterscheidet sich jedoch grundlegend von der im Dorn/Bader und Metzler. Das Buch Impulse Physik stellt zunächst die verschiedenen Phänomene bei Elektronen und Photonen vor. Es beginnt mit der Betrachtung der Interferenz von Elektronen in der Elektronenbeugungsröhre. Es folgt die Betrachtung von Elektronen im Doppelspalt-Versuch. Danach wird mit dem photoelektrischen Effekt und dessen Umkehrung bei Leuchtdioden fortgefahren. Dabei wird die Frequenzabhängigkeit der Energie des Lichts herausgestellt. Dort heißt es: „Der Fotoeffekt wirft Fragen bezüglich der Wellenvorstellung von Licht auf. Einstein erhielt für die Klärung dieser Fragen den Nobelpreis“ (Bredthauer, 2009, 228). Eine Klärung dieser Fragen bleibt jedoch zunächst aus.

Im Anschluss wird der Impuls von Photonen behandelt. Danach wird die Beugung von einzelnen Photonen im Taylor’schen Experiment untersucht, wobei erstmals explizit die Wahrscheinlichkeitsinterpretation angesprochen wird. Nun werden Photonen und Elektronen als Quantenobjekte zusammengefasst und die bisher gewonnenen Erkenntnisse systematisiert. Photonen und Elektronen werden zunächst bezüglich ihres Verhaltens am Doppelspalt-

Versuch verglichen und gegenüber klassischen Teilchen abgegrenzt. Hierbei werden erstmals Deutungsfragen expliziert. Anschließend werden Photonen im Michelson-Interferometer untersucht und festgestellt, dass das Interferenzbild keinen Rückschluss auf den Weg eines Quantenobjekts erlaubt. Im Anschluss werden vertiefend weitere Phänomene und Inhaltsbereiche der Quantenphysik behandelt. Dazu werden zunächst die Röntgenbremsstrahlung und die Röntgenbeugung betrachtet. Es folgt die Behandlung des Compton-Effekts. Weiterhin wird der Messprozess thematisiert, wobei die Zustandsreduktion erläutert wird.

Es folgt die Heisenberg'schen Unbestimmtheitsrelation. Danach werden Photonen im Mach-Zehnder-Interferometer untersucht, um das Prinzip der Komplementarität zu erläutern. Daraufhin wird kurz ein qualitativer Überblick zum Thema Verschränkung gegeben. An dieser Stelle ist ein Exkurs zu den Interpretationsfragen der Quantenphysik eingefügt. Nun folgt eine vermehrt quantitative Betrachtung weiterer quantenmechanischer Phänomene. Dazu wird zunächst der Tunneleffekt mithilfe von Wahrscheinlichkeitsaussagen beschrieben. Danach wird in die Atomphysik zum Franck-Hertz-Versuch und zu Linienspektren übergeleitet. Anschließend werden die verschiedenen Energieniveaus des Wasserstoffatoms berechnet. In einem Exkurs werden in diesem Kontext die Leistungen und Grenzen des Bohr'schen Atommodells diskutiert. Abschließend werden die Energieniveaus im Modell des Potentialtopfs besprochen und das Orbitalmodell eingeführt. Anders als der Dorn/Bader und der Metzler Physik erarbeitet das Schulbuch Impulse Physik foglich die Quantenphysik anhand konkreter Experimente und systematisiert die Inhalte im Anschluss. Dadurch wird primär das Ziel verfolgt, Erklärungen für quantenmechanische Phänomene zu vermitteln, und weniger, ein kohärentes Konzeptverständnis aufzubauen.

Auf den ersten Blick fällt auf, dass sich die Sachstrukturen von MILQ und den Schulbüchern Dorn/Bader und Metzler Physik an vielen Stellen ähneln. Die Sachstruktur aus dem Schulbuch Impulse Physik hingegen unterscheidet sich davon deutlich. Offenbar gibt es nicht „den einen Weg“, wie das Thema Quantenphysik in Schulbüchern aufbereitet wird. Nichtsdestotrotz kann die Sachstruktur, die mit dem photoelektrischen Effekt in die Quantenphysik einsteigt, als der gängigste Weg bezeichnet werden. In einer bundesweiten Befragung von knapp 200 Physiklehrkräften geben die meisten an, diesen Einstieg zu wählen (Burkard, 2009). Zudem wird diese Reihenfolge auch vom Kernlehrplan NRW vorgeschlagen (KLP NRW, 2014). Eine Sachstruktur mit der Behandlung von Elektronen als Einstieg ist hingegen eher ungewöhnlich (Burkard, 2009).

Das bedeutet, dass der fachdidaktisch innovative Charakter von MILQ nicht so sehr in der curricularen Abfolge von Themen liegt. Er zeigt sich vielmehr in den verfolgten Zielen und Motiven. MILQ betont wesentlich

mehr als die Schulbücher, dass die Quantenphysik nicht nur ein für die Schüler*innen neues Thema mit neuen Gesetzmäßigkeiten darstellt, sondern eine neue Theorie, welche sich fundamental von der klassischen Physik unterscheidet. Diese Unterscheidung zur klassischen Physik wird zwar in den drei Schulbüchern ebenfalls thematisiert, aber nicht tiefgehender diskutiert. In MILQ wird demgegenüber schon frühzeitig die Born'sche Wahrscheinlichkeitsinterpretation eingeführt, um einem naiven Welle-Teilchen-Dualismus vorzubeugen. Diese Interpretation kommt in den analysierten Schulbüchern erst deutlich später. Weiterhin steht bei MILQ die Begriffsbildung im Vordergrund. Es wird deutlich gemacht, dass es sich um eine neue Theorie handelt, welche neue Begriffsdefinitionen und eine Abgrenzung zur klassischen Physik erfordert. Diese Aspekte werden im Verlauf der Unterrichtsreihe immer wieder aufgegriffen und vertieft, was in allen drei Schulbüchern in dieser Form nicht stattfindet.

Darüber hinaus liegt MILQ durchgängig die Ensemble-Interpretation zugrunde, um eine kohärente Verständnisbildung bei den Schüler*innen zu unterstützen. Die untersuchten Schulbücher beziehen indes keine Stellung, auf welcher Deutung ihre Ausführungen basieren. Anhand der Formulierung der Heisenberg'schen Unbestimmtheitsrelation ist aber z.B. zu erkennen, dass sich der Dorn/Bader auf ein Ensemble und daher auf die Ensemble-Interpretation, der Metzler hingegen auf einzelne Quantenobjekte und damit vermutlich auf die Kopenhagener Deutung bezieht. Bei Impulse Physik ist die Formulierung vage, aber vermutlich kann das Buch wie der Metzler bei der Kopenhagener Deutung eingeordnet werden. Insgesamt spielen die Interpretationsfragen der Quantenphysik in den Schulbüchern nur eine untergeordnete Rolle. Sie werden nur an wenigen Stellen im Text oder explizit höchstens als zusätzliches Angebot in einem Themenexkurs aufgegriffen.

Der geringe Fokus der analysierten Schulbüchern auf Konzeptbildung und Interpretationsfragen legt die Vermutung nahe, dass in ihnen typische Schülervorstellungen zur Quantenphysik nur wenig berücksichtigt werden. Bspw. wird der scheinbare Konflikt zwischen dem Wellen- und Teilchenmodell konzeptuell nicht aufgelöst. Im Metzler Physik steht (Grehn, 2014, 386, Hervorhebungen übernommen):

„Eine Verbindung zwischen den beiden Vorstellungen vom Licht lässt sich herstellen, wenn beachtet wird, dass mithilfe der **Wellenvorstellung** vom Licht die **Ausbreitung** des Lichts im Raum und mit der **Teilchenvorstellung** die Absorption oder Emission von Photonen, also die **Wechselwirkung** mit Materie, beschrieben werden.“

Im weiteren Text bleibt offen, wie diese Verbindung aussieht. Dadurch ist anzunehmen, dass durch diese Aussage die Vorstellung eines naiven Welle-Teilchen-Dualismus, dass je nach betrachtetem Phänomen das passende Mo-

dell zur Beschreibung ausgewählt werden müsse, unterstützt wird. Der Gedanke der Verknüpfung wird im Gegensatz dazu im Dorn/Bader etwas genauer herausgearbeitet (Bader, 2014, 274, Hervorhebungen übernommen):

„In der Quantensprache fasst man beides zusammen und nennt die Zeiger **Wahrscheinlichkeits-Amplituden**: Wir sagen ψ -Zeiger (psi). Für ihre Länge schreibt man $|\psi|$, das Quadrat $|\psi|^2$ gibt die Dichte der Photontreffer an, die Wahrscheinlichkeit, mit der sich Photonen auf dem Beugungsschirm niederlassen.“

Solche Formulierungen sind kaum mehr als Merk- und Anwendungsregeln. Für die Schüler*innen bieten sie nur wenig Erklärungskraft.⁴³

In Impulse Physik findet keine abschließende Klärung des Welle-Teilchen-Dualismus statt, stattdessen wird auf ein Bild von William Ely Hill verwiesen, indem je nach Betrachtungsweise sowohl eine junge als auch eine alte Dame zu sehen ist. Der Transfer auf Quantenobjekte wird nicht erläutert. Auch hier kann angenommen werden, dass dadurch die Vorstellung eines naiven Welle-Teilchen-Dualismus unterstützt wird. Das Schulbuch Impulse Physik verfolgt allerdings ohnedies weniger das Ziel, die Quantentheorie nachzuvollziehen, als vielmehr einzelne quantenmechanische Phänomene abzuhandeln.

Insgesamt gesehen verfolgt MILQ wesentlich stärker als die drei analysierten Schulbücher das Ziel, den Schüler*innen ein konzeptuelles und qualitatives Verständnis der Quantenphysik zu vermitteln. Der Vergleich der Sachstrukturen zeigt, dass diese die Besonderheiten von MILQ birgt.

Empirisch belegte Wirksamkeit

Im Folgenden wird die empirische Evaluation der Wirksamkeit der theoretisch fundierten fachdidaktischen Innovation von MILQ beschrieben. MILQ wurde in den Jahren 1996 bis 1999 in fünf Physikkursen erprobt und anschließend überarbeitet (Müller, 2003). Danach erfolgte eine Wirksamkeitsanalyse im Vergleich zum traditionellen Lernweg. Dazu wurde MILQ in den Jahren 2000 und 2001 von zwei Lehrkräften, welche im Vorfeld an einer Online-Fortbildung zum Unterrichtskonzept teilnahmen, in fünf Physikkursen ein-

⁴³Im Vergleich dazu steht in MILQ: „Es ist nicht möglich, das physikalische Verhalten von Photonen in einem reinen Teilchen- oder Wellenmodell zu beschreiben. Eine befriedigende Erklärung muss Kennzeichen beider Modelle in sich vereinigen“ (Müller, 2019, 16). „*Bornsche Wahrscheinlichkeitsinterpretation*: Quantenobjekte werden durch eine Wellenfunktion $\psi(x)$ beschrieben. Sie breitet sich nach Wellengesetzen aus. Die Wellenfunktion bestimmt die Wahrscheinlichkeit, ein Quantenobjekt im Volumenelement ΔV um den Ort x nachzuweisen: $P(x) \cdot V = |\psi(x)|^2 \cdot \Delta V$ “ (Müller, 2019, 39, Hervorhebungen übernommen).

gesetzt. Die Schüler*innen aus diesen Kursen füllten am Ende der Unterrichtsreihe einen Fragebogen zu ihren Vorstellungen zur Quantenphysik und zum Konzeptverständnis aus. Es wurden zusätzlich mit 22 Schüler*innen Interviews geführt. Weiterhin füllten ebenfalls 25 Erstsemesterstudierende des Gymnasiallehramts mit Fach Physik an der LMU den Fragebogen aus, um als Vergleichsgruppe zu dienen. Auf ein Kontrollgruppen-Design mit Schüler*innen, die nach dem traditionellen Lernweg unterrichtet wurden, wurde indes verzichtet, da Müller (2003) zufolge sonst andere Lernziele verfolgt werden würden und somit kein fairer Vergleich zwischen den Gruppen zum Abschneiden im Test möglich wäre. Im Gegensatz dazu stellen laut Müller (2003) Studierenden eine geeignete Vergleichsgruppe dar, weil es sich um überdurchschnittlich gute ehemalige Physikschrüler*innen handelt, welche zum Zeitpunkt der Erhebung noch keine Veranstaltungen zur Quantenmechanik an der Universität besucht hatten.

Aus den Ergebnissen der Evaluation geht hervor, dass die Interventionsgruppe insgesamt im Test hochsignifikant besser als die Vergleichsgruppe abschneidet (Müller, 2003). Probanden aus der Vergleichsgruppe haben bspw. deutlich häufiger eine Planetenvorstellung in Bezug auf den Atomaufbau. Nichtsdestotrotz finden sich auch bei einigen Schüler*innen aus der Interventionsgruppe noch typische Schülervorstellungen zur Quantenphysik. Insgesamt zeigen die Ergebnisse jedoch, „dass es [durch das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik] möglich ist, die Quantenmechanik korrekt und auf begrifflich hohem Niveau erfolgreich zu unterrichten“ (Müller, 2003, 182). Somit kann die Wirksamkeit von MILQ gegenüber den herkömmlichen Lernweg empirisch belegt werden.⁴⁴ Nach der Evidenzhierarchie empirischer Befunde (vgl. Abschnitt 3.3.3) handelt es sich bei der Evaluation von MILQ um eine Einzelstudie, also um eine „mittlere“ Evidenz. Es muss allerdings bei dieser Einschätzung berücksichtigt werden, dass derzeit keine Metaanalysen oder systematischen Reviews zum Bereich Quantenphysik in der Schule existieren, weshalb Einzelstudien momentan die „Spitze“ der Evidenzhierarchie in diesem Gebiet bilden (vgl. Bromme, Prenzel & Jäger, 2014).

Adaptierbarkeit

In dem Unterrichtskonzept liegen keine vorgefertigten Unterrichtsentwürfe für einzelne Unterrichtsstunden vor, sodass die Unterrichtsmaterialien in jedem Fall adaptiert werden müssen. Durch die Differenzierung in einen Basis- und einen Aufbaukurs kann zudem das Niveau und der Grad der Auseinandersetzung mit dem Thema unterschieden werden. Diese Flexibilität wird

⁴⁴Detaillierte Ausführungen zum Studiendesign der Evaluation und den Ergebnissen sind bei Müller (2003) nachzulesen.

Die Ensemble-Interpretation der Quantenmechanik¹

Hartmut Wiesner und Rainer Müller

Einleitung

Der Unterricht der Quantenmechanik in der Schule hat mit zwei großen Schwierigkeiten zu kämpfen: Zum einen ist der mathematisch-formale Aufwand schon bei der Bewältigung der einfachsten Probleme so groß, daß man zu Abschätzungen und kontroversen Verfahren gezwungen ist, um überhaupt zu relevanten Ergebnissen zu gelangen. Als Beispiel werden in einem vorangegangenen Artikel [1] verschiedene Verfahren zur Ermittlung der Energieeigenwerte im Wasserstoffatom vorgestellt. Auf der anderen Seite stellen die Interpretationsfragen, die Schüler und Lehrer während der noch größeren Probleme stellen, Betrachtet man etwa die Kopenhagener Interpretation (s. z. B. [2]), die eine naive Verleibung gefunden hat, so findet man sich bei einem guten elementartheoretischen System, das in seiner bestmöglichen Komplexität abstrakte, keine Antworten gibt, die sich in wenigen Sätzen ausdrücken lassen. Entscheidend kommt hinzu, daß sich die Wissenschaft trotz ihres immensen empirischen Erfolgs keineswegs für die richtige Deutung der Quantenmechanik einigt. Im Grunde müßten daher viele Interpretationsansätze mit dem Hinweis „gibt bezüglich einer bestimmten Deutung“ versehen werden.

Es wäre daher sicher erwünscht, wenn man eine Interpretation der Quantenmechanik finde, die einfach zu lernen und zu lernen ist, deren Aussagen aber trotzdem von der großen Mehrheit der Fachphysiker akzeptiert werden können. Und in der Tat gibt es mit der Statistischen oder Ensembleinterpretation eine solche Deutung, die eine Art „Minimalinterpretation“ der Quantenmechanik darstellt. Im Grunde läßt sich ihre Aussage zusammenfassen in dem Satz: „Die statistischen Aussagen der Quantenmechanik beziehen sich nicht auf ein Einzelsystem, sondern auf ein statistisches Ensemble von identisch präparierten Systemen“. Sie ist minimal in dem Sinne, daß ihre Sprache direkt dem Vorgehen der Experimentalphysiker und ihren Ergebnissen entspricht, die sich in der Quantenmechanik immer auf Mittelwertmessungen bestimmter Observablen in statistischen Gesamtsystemen beziehen. Im folgenden sollen die geschichtliche Entwicklung, die Bedeutung und die Geltung der Statistischen Interpretation deutlich gemacht und ihre mögliche Rolle im Schulunterricht betrachtet werden.

Falsche Vorstellungen über den Welle-Teilchen-Dualismus

In vielen populärwissenschaftlichen Texten, aber auch in einigen älteren Schulbüchern wird das mysteriöse Verhalten von Quantenobjekten auf den Dualismus von Welle und Teilchen reduziert:

Es wird die Vorstellung vermittelt, der Indeterminismus der Quantenmechanik bestehe darin, dass man nicht vorhersagen kann, ob sich ein Quantenobjekt in einem bestimmten Experiment als Teilchen oder als Welle verhält.

Das ist irreführend. Es ist wahr, dass sich die Beschreibung von Quantenobjekten nicht auf ein reines Wellen- oder Teilchenmodell reduzieren lässt. Das ist eine bemerkenswerte Tatsache, die den klassischen Vorstellungen widerspricht und die im Unterricht größtmöglich gestiftet werden muss.

Das „Rätsel“ des Welle-Teilchen-Dualismus in dieser naiven Form wird aber durch die **Born'sche Wahrscheinlichkeitsinterpretation** vollständig aufgelöst (das wird in der Lektion Wahrscheinlichkeitsinterpretation und Wellenfunktion ausführlich diskutiert): Die Wellenfunktion beschreibt Wellengeseetze, und ihr Betragsgemäß gibt die Wahrscheinlichkeit an, das Quantenobjekt an der betreffenden Stelle zu finden. Für jedes Experiment kann man eindeutig vorhersagen, ob man „Wellenverhalten“ oder „Teilchenverhalten“ finden wird.

Das indeterministische Element der Quantenmechanik liegt vielmehr darin, dass über das Ergebnis von Messungen nur statistische Aussagen möglich sind. Am Beispiel des in dieser Lektion betrachteten Interferenzexperimentes heißt das: Man kann nicht im Voraus sagen, an welcher Stelle auf dem Schirm das nächste Photon nachgewiesen werden wird. Man kann nur die **Wahrscheinlichkeit** angeben, mit der es an einer bestimmten Stelle gefunden wird (vgl. Lektion 4.2: „Das Doppelspaltexperiment mit einzelnen Photonen und die Wahrscheinlichkeitsansagen der Quantenlehre“).

Abbildung 5.3.: Beispielhafte Darstellung zusätzlicher Elemente von MILQ wie Artikel oder Informationstexte.

für die vorliegende Studie als positiv eingeschätzt, da die Erfassung von Unterschieden im Nutzungsverhalten für eine Analyse der Zusammenspiels verschiedener Einflussfaktoren der Materialnutzung angestrebt wird.

Unterstützungshilfen für eine Differenzierung innerhalb der Lerngruppe liegen in MILQ jedoch nicht vor. Das Konzept ist ferner in einer logisch aufeinander aufbauenden Reihenfolge angeordnet, die nicht beliebig veränderbar ist. Es fehlen Hinweise im Konzept, welche Elemente als Kernelemente angesehen und umgesetzt werden sollten, um die angestrebten Ziele zu erreichen, sodass der genaue Grad der Adaptierbarkeit unklar bleibt.

Strukturelle Zusammensetzung

MILQ enthält sowohl Elemente für die Unterrichtsvorbereitung als auch für den Einsatz im Unterricht. Das Kernelement stellt der Lehrtext dar, welcher neun Kapitel mit insgesamt 92 Seiten umfasst. Dieser setzt sich aus einem Fließtext mit ergänzenden Abbildungen, Experimentieraufträgen, Herleitungen von Formeln und Merksätzen zusammen. Zu jedem Kapitel des Lehrtexts werden zusätzliche Materialien bereitgestellt. Dazu zählen Informationstexte mit möglichen Fragen oder Lernschwierigkeiten von Schüler*innen (insgesamt 30), Arbeitsblätter (insgesamt 17), Computersimulationen (insgesamt sechs) oder Hintergrundtexte in Form von Artikeln (insgesamt fünf), wie bspw. die Diskussion von Schulbuchzugängen zur Quantenphysik oder zur Ensemble-Interpretation (vgl. Abb. 5.3).

Es wird allerdings nicht gekennzeichnet, welche Elemente für Lehrkräfte bzw. für Schüler*innen gedacht sind. Das betrifft insbesondere den Lehrtext, der ursprünglich aus einer Online-Lehrer*innenfortbildung stammt und daher vermutlich in erster Linie als Unterstützung der Lehrperson gedacht ist. Somit stellt sich die Frage, ob der Lehrtext auch an Schüler*innen wie ein

Schulbuch herausgegeben werden kann. Die Zielsetzung der Informationstexte ist ebenfalls unklar. Es wird darauf verwiesen, dass die Informationstexte typische Fragen von Schüler*innen behandeln, aber inwieweit sie als thematische Vorbereitung für die Lehrperson oder als Text für Schüler*innen intendiert sind, bleibt offen bzw. wird der Lehrperson überlassen. Es werden zudem keine methodischen Anregungen oder Anregungen zur Vermittlung naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen bzw. zum forschenden Lernen gegeben. Auch fachdidaktische Unterstützungsmaßnahmen beschränken sich auf die Nennung typischer Schülervorstellungen zur Quantenphysik und ihrer impliziten Berücksichtigung im Konzept.

Für die vorliegende Studie werden die verschiedenen Elemente von MILQ in einem Materialordner zusammengefasst und kapitelweise sortiert.⁴⁵ Zusätzlich wird ein Artikel aus der Zeitschrift *Praxis der Naturwissenschaften* dem Unterrichtskonzept beigelegt, in dem Müller (2008) auf vier Seiten die Ziele, die Besonderheiten und die Ergebnisse aus der empirischen Evaluation vorstellt. Das gesamte Materialpaket wird den teilnehmenden Lehrkräften ebenfalls als DVD bereitgestellt. Alle Materialien sind zudem auf der Website www.milq.info verfügbar, worauf die teilnehmenden Lehrkräfte hingewiesen werden.

Bedarf von Lehrkräften

Um die Eignung der Wahl von MILQ als Unterrichtskonzeption auch aus fachlicher Sicht zu rechtfertigen, werden im Folgenden die Chancen und Herausforderungen beim Unterrichten von Quantenphysik in der Schule diskutiert. Weiterhin wird im Ergebnisteil dazu erneut Bezug genommen, um die Nutzung der bereitgestellten materialgestützten Unterrichtskonzeption durch die teilnehmenden Lehrkräfte vor diesem Hintergrund besser einordnen zu können.

Die Quantenphysik nimmt eine gesonderte Stellung im Physikunterricht ein, weil sie als eines der wenigen Themen der Schulphysik Bestandteil der modernen Physik und damit ein noch nicht abgeschlossenes Forschungsgebiet ist. Im Sinne von Klafki (1969) birgt sie damit ein besonderes Bildungspotential. So bietet die Quantenphysik die Möglichkeit, mit Schüler*innen explizit aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisprozesse nachzuvollziehen – etwa dass Erkenntnisse nicht alleine aus Experimenten hergeleitet, sondern mittels einer experimentellen Prüfung theoriegeleiteter Hypothesen gewon-

⁴⁵Auf der Internetseite sind zwei PDF-Versionen des Lehrtextes hochgeladen, wobei eine aus 13 Kapiteln besteht, allerdings Kapitel 11 fehlt. Aus diesem Grund wird die andere Version für den Materialordner verwendet; diese besteht aus neun Kapitel. Sie ist jedoch nicht konsistent mit dem Aufbau der Internetseite, welche in 13 Kapitel aufgeteilt ist. Inhaltlich handelt es sich um die gleichen Themen, nur in einer anderen Kapitelaufteilung.

nen werden (Kuhn, 1992). Leisen bezeichnet die Quantenphysik sogar als „erkenntnistheoretische Fundgrube schlechthin“ (2009, 393), u.a. auch wegen der Möglichkeit zur Thematisierung der Bedeutung und Limitationen von Modellen in der Physik. Zudem bildet die Quantenphysik die Grundlage vieler technischer Entwicklungen aus dem Alltag wie Leuchtdioden, Solarzellen, Laser oder Transistoren. Ferner ist das Thema Quantenphysik durch den Beschluss der Kultusministerkonferenz fest in den Kernlehrplänen der Länder verankert und regelmäßig Gegenstand von Abituraufgaben (KMK, 2004a).

Nichtsdestotrotz bringt das Unterrichten von Quantenphysik an der Schule auch einige Schwierigkeiten mit sich, denn das Thema ist mathematisch abstrakt und wenig intuitiv. Es wird sogar diskutiert, inwieweit eine angemessene Elementarisierung auf Schulniveau überhaupt zu realisieren ist (Fischler, 1992; Reinhold, 2006). Ferner resultieren aus dem Umstand, dass es sich um ein nicht abgeschlossenes Forschungsgebiet handelt (z.B. Friebe, Kuhlmann, Näger, Passon & Stöckler, 2018), erhöhte fachliche Anforderungen an Physiklehrkräfte, da diese sich mit den aktuellen Entwicklungen und ungeklärten Fragen auf diesem Gebiet auseinandersetzen und diese nachvollziehen müssen.

Überdies ist die Quantenphysik fundamental verschieden von der klassischen Physik, weshalb sich das Abstraktionsniveau immens erhöht, da sich bereits die klassische Physik in vielen Fällen deutlich von der Alltagswelt der Schüler*innen unterscheidet. Dies ist die Ursache für zahlreiche Schüler*innen vorstellungen zu diesem Inhaltsbereich (Müller & Schecker, 2018). Tatsächlich haben viele Schüler*innen auch nach der Behandlung von Quantenphysik im Unterricht keine fachlich korrekten Vorstellungen (Müller, 2003; Krijtenburg-Lewerissa et al., 2017). Schüler*innen behalten häufig eine klassische Denkweise bei, sodass Quantenobjekten fälschlicherweise wohldefinierte klassische Eigenschaften wie Ort oder Impuls zugeschrieben werden (Müller & Schecker, 2018). Daher denken Schüler*innen über Elektronen bevorzugt im Teilchenbild und verharren häufig in einem naiven Welle-Teilchen-Dualismus. In Bezug auf die Beschreibung von Licht findet sich wiederum überwiegend eine reine Wellenvorstellung bei Schüler*innen. Müller (2003) berichtet überdies von teilweise widersprüchlichen Antworten gleicher Personen zu quantenmechanischen Vorstellungen, was daraufhin deutet, dass einige Schüler*innen über kein einheitliches Konzept zur Quantenphysik verfügen. Bei manchen Schüler*innen scheinen diese Inkongruenzen so groß zu sein, dass sie gar keinen Erklärungsansatz für quantenmechanische Phänomene liefern können.

Weiterhin dominiert bei der Beschreibung des Aufbaus von Atomen für viele Schüler*innen das Bohr'sche Atommodell und damit eine zum Planetensystem analoge Vorstellung von Elektronen auf festen Kreisbahnen

um den Atomkern.⁴⁶ Des Weiteren werden Wahrscheinlichkeitsaussagen zu Quantenobjekten von Schüler*innen oftmals als Ungenauigkeit interpretiert. Ebenso wird die Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation häufig als Messungenauigkeit oder Messfehler verstanden. Aufgrund dessen empfiehlt Fischler (1992), den Begriff „Unschärfe“ zu vermeiden und stattdessen von „Unbestimmtheit“ zu sprechen, um diese Fehlvorstellung nicht zu unterstützen. Eine ausführliche Beschreibung der verschiedenen Schülervorstellungen ist bei Müller (2003) und Müller und Schecker (2018) nachzulesen.

Die geschilderten Umstände stellen erhöhte fachliche und fachdidaktische Anforderungen an Physiklehrkräfte beim Unterrichten von Quantenphysik. Es ist allerdings bezeichnend, dass teilweise auch Lehramtsstudierende, welche bereits Vorlesungen in theoretischer Quantenmechanik an der Hochschule besuchten, noch konzeptuelle Verständnisschwierigkeiten in der Quantenphysik auf Schulniveau haben, was aus einer Befragung von 18 Studierenden folgt (Müller & Wiesner 1997). Robertson und Kohnle (2009) fanden ganz ähnliche Befunde auch für Fachstudierende. In einer Fragebogenstudie mit 174 britischen Physikstudierenden konnten sie große Schwierigkeiten im konzeptuellen Verständnis feststellen (vgl. Johnston, Crawford & Flechter, 1998). Gut zwei Drittel der Stichprobe hatte zu dem Zeitpunkt bereits Quantenmechanik-Veranstaltungen an der Universität besucht.

Weiterhin geben viele Physiklehramtsstudierende an, dass sie sich einen Transfer ihres universitären Wissens zur Quantenphysik auf Schulniveau nicht zutrauen (Schöne, 2018). Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass Physiklehramtsstudierende in der Regel in Bezug auf die fachlichen Inhalte gemeinsam mit Fachstudierenden ausgebildet werden und der Schwerpunkt der Fachveranstaltungen dadurch weniger auf den Bedürfnissen der Lehramtsstudierenden liegt. Die Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG) kritisiert dieses Verfahren, da angehende Physiklehrkräfte eine „ganz anderen Zielsetzung“ (DPG, 2006, 8) im Studium benötigten. Statt schulrelevanter Inhalte wie Konzeptbildung stehen in quantenmechanischen Lehrveranstaltungen an der Hochschule primär mathematische Fähigkeiten und die theoretische Beschreibung im Fokus (Kuhn, 1992; Pospiech & Schöne, 2012; Breuer, 2020). Themen der Schulphysik wie der Compton-Effekt, der Photoeffekt oder der Welle-Teilchen-Dualismus sind ebenfalls eher selten Gegenstand universitärer Lehrveranstaltungen (Schöne, 2018). Daher ist es nicht verwunderlich, dass der Begriff *Welle-Teilchen-Dualismus* von Lehrkräften unterschiedlich

⁴⁶Vor diesem Hintergrund wird der Einsatz des Bohr'schen Atommodells im Unterricht kontrovers diskutiert. Die Empfehlungen reichen von einem vollständigen Verzicht auf das Bohr'sche Atommodell, um die zuvor beschriebene (semi-)klassische Denkweise von Schüler*innen nicht zu fördern, bis hin zu einer starken Befürwortung des Einsatzes, da eine Veranschaulichung bei dem hohen Abstraktionsgrad des Inhaltsbereiches für ein größeres Verständnis bei den Schüler*innen Sorge (vgl. Fischler, 1992).

interpretiert wird (entweder-oder, sowohl-als-auch bzw. weder-noch) (Weber, 2018). Schöne (2018, 4) konstatiert, „dass die heutige Ausbildung in der Quantenphysik [für Lehramtsstudierende] deutlich verbessert werden kann und muss.“ Es ist insofern davon auszugehen, dass zumindest einige Lehrkräfte fachliche Defizite in Bezug auf die schulrelevanten Aspekte der Quantenphysik aufweisen.

Aus den bisherigen Darstellungen wird deutlich, dass das Unterrichten von Quantenphysik in der Schule Lehrkräfte vor eine besondere Herausforderung stellt. Dies betrifft zum einen die fachlichen Anforderungen, welche zu Verunsicherungen oder gar zu Verständnisproblemen bei Lehrkräften führen können (Müller & Wiesner, 2002). Zum anderen zählen dazu die fachdidaktischen Anforderungen, welche sowohl aus den sachbedingten Lernschwierigkeiten als auch aus den innenbedingten Lernschwierigkeiten der Schüler*innen folgen (vgl. Wiesner, Schecker & Hopf, 2011). Daraus lässt sich ableiten, dass vermutlich bei vielen Lehrkräften ein großer Unterstützungsbedarf beim Unterrichten von Quantenphysik besteht – umso mehr, wenn man bedenkt, dass viele gängige Schulbücher Schülervorstellungen zur Quantenphysik wenig bis gar nicht berücksichtigen bzw. diese durch den unreflektierten Gebrauch von Begriffen wie „Unschärfeprinzip“ (Metzler), „Materiewelle“ (Physik Oberstufe Gesamtband) oder irreführenden Formulierungen zum Welle-Teilchen-Dualismus (z.B. Impulse Physik) sogar eher unterstützen.

Die Bedürfnisse von Lehrkräften zum Thema Quantenphysik wurden in einer Untersuchung als Grundlage für die Entwicklung einer Lehrer*innenfortbildung erfragt (Weber, 2018). Demnach nehmen Lehrkräfte das hohe Abstraktionsniveau, den Gegensatz zur klassischen Physik und den mathematischen Formalismus als besondere Herausforderung des Unterrichts von Quantenphysik in der Schule wahr.

Was kann aus diesen Ausführungen zum Unterrichten von Quantenphysik für das Nutzungsverhalten von Lehrkräften geschlussfolgert werden? Es sind die fachlichen und fachdidaktischen Schwierigkeiten, der teilweise fachdidaktisch unaufgeklärte Umgang mit dem Thema in Schulbüchern und verschiedenste alternative Zugangsmöglichkeiten zur Quantenphysik geschildert worden. Dieses Konglomerat an Schwierigkeiten und Möglichkeiten bildet eine weitere Herausforderung für Lehrkräfte. Ein Überblick über die Lernschwierigkeiten, die fachdidaktische Kontroverse und die verschiedenen Zugangsmöglichkeiten mit ihren Vor- und Nachteilen ist nur mit einer breiten fachlichen und fachdidaktischen Wissensbasis, einem hohen Interesse an dem Thema und der Bereitschaft, viel Zeit aufzubringen, möglich. Es ist daher zu vermuten, dass manche Lehrkräfte mit dem Unterrichten von Quantenphysik überfordert sind. Weiterhin ist davon auszugehen, dass – wie bereits erwähnt – aufgrund der Umstellung des Kerncurriculums in NRW für den

Grundkurs vielen Lehrkräften ein dazu ausgearbeitetes Unterrichtskonzept fehlt, was ebenfalls den Bedarf der Lehrkräfte erhöhen kann. Somit ist mit sehr unterschiedlichen Handhabungen des in der vorliegenden Studie bereitgestellten Materialpakets zu rechnen. In jedem Fall ist eine breite Umsetzung der verschiedenen Ansätze bisher nicht geschehen (Burkard, 2009), was eine Untersuchung des Nutzungsverhaltens von Lehrkräften umso attraktiver macht.

Zeitlicher Umfang

Das Unterrichtskonzept umfasst eine gesamte Unterrichtsreihe zur Quantenphysik, welche in voller Länge nach Einschätzung von Müller (2003) einem Umfang von etwa 40 Unterrichtsstunden entspricht. Selbst bei der Implementierung des Basiskurses im Grundkurs sollte daher ausreichend Gelegenheit für die Beobachtung und Untersuchung des Implementationsprozesses bestehen.

5.3. Erhebungsinstrumente

5.3.1. Interviews

Es werden pro Proband insgesamt vier Einzelinterviews geführt, welche sich in ein allgemeines Einstiegsinterview zu Beginn, zwei Stimulated-Recall-Interviews nach jeder Unterrichtsbeobachtung und ein Abschlussinterview am Ende der Unterrichtsreihe einteilen lassen. In diesem Abschnitt wird nun zunächst allgemein die Wahl von Interviews als Erhebungsinstrument begründet und gemeinsame Aspekte der verschiedenen Interviewformate dieser Studie beschrieben. Im Anschluss werden die einzelnen Interviewformate im Detail vorgestellt. Die Reihenfolge der vorgestellten Erhebungsinstrumente entspricht nicht der chronologischen Reihenfolge, da die *stimulated recalls* erst nach den Unterrichtsbeobachtungen stattfinden. Um allerdings die allgemeinen Rahmenbedingungen für die verschiedenen Interviewformate gemeinsam vorstellen zu können, wird bewusst von der chronologischen Reihenfolge abgewichen. Der Ablauf der verschiedenen Erhebungsinstrumente und die zeitlichen Rahmenbedingungen werden im Unterkapitel 5.4 dargestellt.

Zur Klärung der Forschungsfragen ist die Erfassung möglicher Einflussfaktoren der Materialnutzung auf Seiten der Lehrkräfte notwendig. Solche Faktoren stellen Überzeugungen und tiefliegende Denkstrukturen dar. Interviews können eine Einsicht in solch schwierig zu erfassende Prozesse wie bspw. der Unterrichtsplanung geben (vgl. Abschnitt 2.2.3). Darüber hinaus können mithilfe von *stimulated recalls*, auch retrospektives lautes Den-

ken genannt, Handlungsentscheidungen vor und während des Unterrichts rekonstruiert werden, indem konkrete Unterrichtssituationen etwa mittels Videoausschnitten aus dem Unterricht als Erinnerungshilfe nachbesprochen werden (Sandmann, 2014).

Allerdings gibt es eine Spannweite von möglichen Vorgehensweisen in Abhängigkeit vom Forschungsziel. Typische Interviewformen sind das narrative Interview, das episodische Interview, das fokussierte bzw. semi-strukturierte Interview, das problemzentrierte Interview und das ethnographische Interview (eine Übersicht bietet Helfferich, 2011). Daher soll im Folgenden erläutert werden, welche Interviewform für diese Studie ausgewählt wurde. Nach Helfferich (2011) lassen sich die verschiedenen Interviewformen anhand der folgenden Dimensionen voneinander abgrenzen: (a) der Forschungsgegenstand, (b) die Beurteilungskompetenz in Bezug auf den Wahrheitsgehalt und die Genauigkeit von Darstellungen, (c) der Grad der Interviewsteuerung, (d) der Umgang mit eigenen Deutungen und (e) die Festlegung der Rollen von Interviewendem und Befragtem. Allerdings liegen zumeist Mischformen vor, welche sich vielmehr durch die Ausprägung der oben genannten Dimensionen voneinander unterscheiden. Die in dieser Studie durchgeführten Interviews entsprechen einer Mischform aus problemzentrierten und fokussierten Interviews (vgl. Friebertshäuser & Langer, 2013).

Das problemzentrierte Interview geht auf Witzel (1982) zurück. Im Mittelpunkt stehen die Erfahrungen, Wahrnehmungen und Reflexionen des Befragten zu einem bestimmten Thema (vgl. Friebertshäuser & Langer, 2013). Was bei dieser Interviewform auch häufig gemacht, aber in dieser Studie nicht umgesetzt wird, ist die Konfrontation des Befragten mit theoretischen Vorüberlegungen des Interviewenden. Ziel dieser Untersuchung ist hingegen das möglichst unvoreingenommene Erfassen individueller Handlungen und subjektiver Wahrnehmungen. Insbesondere die *stimulated recalls* haben daher auch große Anteile eines fokussierten Interviews, da der Ausgangspunkt die subjektiven Erfahrungen zu einer ungestellten, früher erlebten Situation ist.

Da der (a) Forschungsgegenstand dieser Studie konkrete Fragestellungen während des Prozesses der Unterrichtsplanung und -durchführung in Bezug auf die Vorstellungen zum Lehren und Lernen, Überzeugungen zur Nutzung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen und Motiven der Materialauswahl der Lehrkräfte aufwirft, werden weniger erzählgenerierende, sondern vor allem konkrete Fragestellungen und bei Bedarf auch Nachfragen an die Befragten gerichtet (Witzel & Reiter, 2012). Dadurch grenzen sich fokussierte Interviews bspw. von narrativen oder episodischen Interviews ab, in denen oftmals biographische Handlungsschemata rekonstruiert werden und daher in der Regel ein wesentlich offenerer Zugang gewählt wird. Es wird

jedoch nicht so stark eingegriffen, dass es zu einer intentionalen Hinführung zu den Überzeugungen der Forscherin kommt (Helfferich, 2011).

Weiterhin kann – anders als bei einer Untersuchung der Erzählstrukturen – die Darstellungen der Befragten auch unterbrochen oder gelenkt werden, falls es bspw. zu Abschweifungen kommt. Dem Interviewenden wird damit eine (b) Beurteilungskompetenz der Äußerungen zugesprochen. Das bedeutet, dass bspw. Motive durch Rückfragen aufgedeckt werden können oder dass nachgefragt werden kann, wenn der Interviewende den Eindruck hat, Fragen wurden übergangen oder unzureichend beantwortet.

Aufgrund des klaren Untersuchungsziels werden alle Interviews mithilfe eines Leitfadens inhaltlich fokussiert und orientiert am bisherigen Stand der Forschung geführt (Friebertshäuser & Langer, 2013). Sie sind halbstrukturiert, sodass auch eine Offenheit für neuartige Aspekte vorliegt. Der (c) Grad der Interviewsteuerung ist daher höher als in offenen Interviewformen, aber weniger ausgeprägt als in stark geleiteten Interviewformen. Der Interviewleitfaden dient als Orientierung und Unterstützungshilfe während des Gespräches, sodass sichergestellt wird, dass allen Probanden inhaltlich die gleichen Fragen gestellt werden. Der genaue Wortlaut kann jedoch variieren und wird an die Gesprächssituation angepasst. Es werden – wie für ein problemzentriertes Interview typisch – erzählgenerierende und verständnisgenerierende Fragen miteinander verknüpft. Es können darüber hinaus individuelle Rückfragen gestellt oder die Reihenfolge der Frage im Laufe des Gespräches abgeändert werden. Durch dieses halbstandardisierte Vorgehen können Vergleiche zwischen verschiedenen Fällen hergestellt und gleichzeitig tiefergehende Erkenntnisse zu den einzelnen Personen gewonnen werden. Allerdings variiert der Grad der Offenheit und die Inhalte der in dieser Studie vorliegenden drei verschiedenen Interviewformate, was später genauer ausgeführt wird.

Damit die Befragten frei, möglichst unvoreingenommen und nicht sozial erwünscht berichten, wird allen Äußerungen Wertschätzung entgegengebracht. Der (d) Umgang mit eigenen Deutungen wird dabei so gehandhabt, dass Bewertungen des Interviewenden zurückgestellt werden. Als vertrauensbildende Maßnahme wird allerdings teilweise durchaus das Vorverständnis oder Deutungen des Interviewenden in die Interviewsituation eingebracht, um die Befragten in der eigenen Ausführung zu bestätigen oder Verständnis zu bekunden. Allerdings werden bewusst Ratschläge oder Feedback vermieden oder höchstens auf Wunsch der Probanden nach Abschluss der Studie gegeben, damit der Interviewende keine beratende Rolle annimmt, sondern sich der Fokus auf den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn richtet. Es wird also eine eher naive Rolle eingenommen und die Lehrperson im Interview als Expert*in für den Unterricht behandelt.

Die (e) Festlegung der Rollen ist weniger asymmetrisch als bspw. bei narrativen Interviews; die in dieser Studie geführten Interviews verlaufen vielmehr vermehrt dialogisch, wobei der Interviewende als Person sehr präsent und greifbar ist. Die Gesprächssituation ist dadurch einer Alltagssituation nahe.

Im Folgenden wird auf die verschiedenen Interviewformate Einstiegsinterview, Stimulated-Recall-Interview und Abschlussinterview im Einzelnen eingegangen.

5.3.1.1. Einstiegsinterview

Das Einstiegsinterview ist chronologisch das erste Datenerhebungsinstrument im Studienverlauf und wird vor oder zu Beginn der Unterrichtsreihe geführt. Das Ziel des Einstiegsinterviews ist eine erste allgemeine Charakterisierung der Lehrperson und ihres Nutzungsverhaltens von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen. Zu diesem Zweck werden das allgemeine Vorgehen bei der Unterrichtsplanung, typische Planungsentscheidungen und Handlungsroutinen der befragten Lehrperson untersucht. Darüber hinaus wird das geplante Vorgehen für die Unterrichtsreihe zur Quantenphysik abgefragt. Äußerungen der befragten Lehrperson hierzu können im weiteren Studienverlauf mit den anderen Erhebungsinstrumenten abgeglichen und bei Bedarf zur Konfrontation in späteren Interviews herangezogen werden.

Zur Entwicklung des Leitfadens werden in einem ersten Schritt in Orientierung an das Modell zur Materialnutzung von Remillard (2005) Aspekte aufgelistet, die die Nutzung und Implementierung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen beeinflussen können und im Einstiegsinterview erfragt werden sollen (vgl. Abschnitt 3.3.3). Demnach werden in Bezug auf die Forschungsfragen sowohl Lehrercharakteristika als auch die Wahrnehmung von Materialmerkmalen als auch die Wahrnehmung von Kontextfaktoren ermittelt. Dementsprechend werden die teilnehmenden Lehrkräfte zu ihrem persönlichen Hintergrund (Demografie), ihren Vorstellungen zum Lehren und Lernen (insbesondere zur Quantenphysik), ihrem Vorgehen in der Unterrichtsplanung, ihrer Nutzung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen allgemein und konkret zur Quantenphysik sowie ihrem ersten Eindruck zum Münchener Unterrichtskonzept befragt (welches ihnen schon vorab zur Verfügung gestellt wurde, vgl. Unterkapitel 5.4).

Für die weitere Entwicklung des Interviewleitfadens werden nun in einem zweiten Schritt zu den unterschiedlichen Inhaltsbereichen Fragen, welche für das Untersuchungsziel der Studie relevant sind, in Form eines Fragenkatalogs gesammelt. Für den persönlichen Hintergrund erscheinen der Werdegang, das Zweitfach, genauere Angaben zum Physikkurs und Absprachen im Kollegium bzw. Vorgaben durch einen schulinternen Lehrplan für das Untersu-

chungsziel relevant. Durch die Erfassung dieser Aspekte können möglicherweise bereits Rückschlüsse auf bestehende Kontextfaktoren gezogen werden.

In der bisherigen Literatur gibt es ein breites Spektrum von subjektiven Theorien, Überzeugungen, Vorstellungen über Haltungen hin zu pädagogischen Grundpositionen von Lehrkräften (vgl. Abschnitt 2.2.3 & 3.3.3). Für diese Studie erscheint es zielführend, sich auf die Vorstellungen zum Lehren und Lernen (im Physikunterricht) zu konzentrieren, da diese wahrscheinlich einen großen Einfluss auf die Materialnutzung haben (Merzyn 1994; Vollstädt et al. 1999; Roehrig, Kruse & Kern, 2007; Tänzer, 2017). Daher werden nicht allgemein die epistemologischen Überzeugungen (Baumert & Kunter, 2006), sondern die Vorstellungen zu gutem Unterricht, zum Experimentieren, zum Einsatz materialgestützter Unterrichtskonzeptionen im Physikunterricht und zum Lehren und Lernen von Quantenphysik (vgl. Fischler, 2000a) abgefragt.

Letztere werden neben den allgemeinen Vorstellungen zum Lehren und Lernen erfasst, weil kontextspezifische Zusammenhänge zu erwarten sind (vgl. Abschnitt 2.2.3). Aufgrund dessen werden sowohl die von der Lehrperson verfolgten Ziele und erwarteten Lernschwierigkeiten der Schüler*innen als auch die Selbstwirksamkeitserwartungen zum Unterrichten von Quantenphysik abgefragt. Insbesondere die Ziele und die Selbstwirksamkeitserwartungen konnten als wichtige Einflussfaktoren der Materialnutzung identifiziert werden (vgl. Abschnitt 3.3.3). Zudem haben die Selbstwirksamkeitserwartungen vermutlich einen Einfluss auf die situationsbezogenen Kognitionen und die Handlungen der Lehrperson (vgl. Abschnitt 2.2.4).

Ferner stellt sich die Frage, ob Vorstellungen zu *nature of science* aufgrund der herausragenden Rolle von Experimenten im Physikunterricht miteinbezogen werden sollten (vgl. Neumann & Kremer, 2013). Da allerdings der Schwerpunkt des ausgewählten Unterrichtskonzepts nicht auf der Vermittlung von *nature of science*, sondern auf der Vermittlung fachlicher Inhalte liegt, werden keine zusätzlichen Fragen zu diesem Themenfeld entwickelt. Es können jedoch indirekt in den *stimulated recalls* bei der Nachbesprechung der Unterrichtsstunden, insbesondere in Bezug auf die Zielsetzung von Experimentierphasen, auch Vorstellungen zu *nature of science* erfasst werden.

Darüber hinaus liegen auch Hinweise vor, dass das Vorgehen bei der Unterrichtsplanung auch die Materialnutzung von Lehrkräften beeinflusst (Müller-Bittner, 2008; Breuer, Vogelsang & Reinhold, 2018b), weshalb bspw. die Bereitschaft, neue Unterrichtskonzeptionen in die eigene Unterrichtspraxis einzubeziehen, abgefragt wird. Ferner steht bei der Nutzung und Auswahl materialgestützter Unterrichtskonzeptionen im Fokus, auf welche Kriterien die befragten Lehrkräfte bei der Wahl von Materialien Wert legen. Mit der gleichen Argumentation wie bei den Vorstellungen zum Lehren und Lernen wird daher neben der allgemeinen Nutzung von Unterrichtskonzeptionen die

Nutzung von Unterrichtskonzeptionen zur Vorbereitung der Unterrichtsreihe zur Quantenphysik thematisiert.

Neben der Nutzung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen im Allgemeinen soll auch der erste Eindruck vom bereitgestellten Unterrichtskonzept MILQ erfasst werden. Dazu werden die teilnehmenden Lehrkräfte nach ihrer Meinung zum Konzept befragt. Damit sollen die Akzeptanz und Auswahlkriterien der Lehrpersonen festgestellt werden, welche bei der Implementierung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen ebenfalls eine wichtige Rolle spielen (vgl. Abschnitt 3.3.3).

Nach diesen Überlegungen zu den konkreten Inhalten der einzelnen Inhaltsbereiche ergeben sich die folgenden Leitfragen für den Interviewleitfaden:

- Wie würden Sie Ihren Unterrichtsstil beschreiben?
- Welchen Stellenwert haben Experimente für Sie im Physikunterricht?
- Welche Aspekte der Quantenphysik halten Sie für den Physikunterricht besonders wichtig?
- Fühlen Sie sich sicher beim Unterrichten von Quantenphysik?
- Wie würden Sie Ihr Vorgehen bei der Unterrichtsplanung beschreiben?
- Auf welche Unterrichtsmaterialien greifen Sie in der Regel bei Ihrer Unterrichtsvorbereitung zurück?
- Was ist Ihr erster Eindruck vom bereitgestellten Unterrichtskonzept?

Die Inhaltsbereiche werden nun in einem dritten Schritt zu einem Leitfaden angeordnet. Der Interviewleitfaden gliedert sich in einen Einstieg, Hauptteil und Schluss. Die Inhaltsbereiche werden in der Reihenfolge vom Allgemeinen zum Speziellen sortiert. Zu Beginn des Interviews werden unverfängliche Fragestellungen platziert, sodass eine vertrauensvolle Gesprächsatmosphäre geschaffen werden kann (vgl. Niebert & Gropengießer, 2014). Kritische Fragestellungen werden hingegen in der zweiten Hälfte des Leitfadens positioniert.

Im ersten Teil beginnt die Interviewerin damit, die Ziele der Studie und den Ablauf des Einstiegsinterviews vorzustellen. Im Anschluss werden die demographischen Daten und die Motivation zur Teilnahme der Studie erfragt. Der Hauptteil beginnt mit dem Inhaltsbereich *Vorstellungen zum Lehren und Lernen im Physikunterricht*, um einen offenen und ungezwungenen Einstieg zu ermöglichen. Hier kann die Lehrperson allgemein von ihrem Vorgehen bei der Unterrichtsplanung und ihrem Unterrichtsstil berichten. Danach wird – ebenfalls zum Kontext Unterrichtsplanung und Handlungsrouninen passend

– zum Inhaltsbereich Materialnutzung übergeleitet. Dabei wird zunächst die Nutzung von Unterrichtskonzeptionen im Allgemeinen und dann konkret für die Quantenphysik erfragt. Anschließend wird der erste Eindruck vom bereitgestellten Unterrichtskonzept erfasst, wobei der bereitgestellte Materialordner während des Interviews zum Durchblättern und für konkrete Beispiele vorliegt. Erst an dieser Stelle werden die Vorstellungen zum Lehren und Lernen von Quantenphysik erfragt. Da insbesondere die Erfassung der Selbstwirksamkeitserwartungen einen kritischen Teil im Interview darstellt, werden diese bewusst erst zum Ende des Hauptteils angesprochen.

Zum Schluss fasst die Interviewerin die zentrale Aussagen der Probanden zur Überprüfung der Beurteilungen in Bezug auf den Wahrheitsgehalt und die Genauigkeit der Darstellungen zusammen (Helfferich, 2011). Bei Bedarf kann die Lehrperson an dieser Stelle die Ausführungen der Interviewerin korrigieren, falls ein Gedanke missverstanden wurde. Zum Abschluss hat die befragte Lehrperson die Möglichkeit, Ergänzungen vorzunehmen, falls noch weiterer Gesprächsbedarf besteht.

Die Struktur des Leitfadens wurde auch nach der Pilotierung beibehalten, es werden lediglich leichte Formulierungsanpassungen vorgenommen und Nachfragen präzisiert. Folglich besitzt der Leitfaden zum Einstiegsinterview die folgende Strukturierung:

1. Einstieg:
 - 1.1. Werdegang
 - 1.2. Motivation zur Teilnahme an der Studie
 - 1.3. Systemische Faktoren
2. Hauptteil:
 - 2.1. Vorstellungen zum Lehren und Lernen im Physikunterricht
 - 2.2. Vorgehen bei der Unterrichtsplanung
 - 2.3. Nutzung von Unterrichtsmaterialien
 - 2.4. Erster Eindruck vom bereitgestellten Unterrichtskonzept
 - 2.5. Vorstellungen zum Lehren und Lernen von Quantenphysik
 - 2.6. Selbstwirksamkeitserwartungen beim Unterrichten von Quantenphysik
3. Schluss:
 - 3.1. Zusammenfassung der Interviewerin
 - 3.2. Möglichkeit für Ergänzungen der Lehrkraft

Der vollständige Leitfaden des Einstiegsinterviews befindet sich im Anhang.

5.3.1.2. Stimulated-Recall-Interviews

Zeitlich erfolgt nach dem Einstiegsinterview die Videographie von zwei Unterrichtsstunden. Im Rahmen der verschiedenen Interviewformate wird jedoch nun das Stimulated-Recall-Interview vorgestellt. Die Vorstellung der Unterrichtsvideographie erfolgt nach der Vorstellung der verschiedenen Interviewformate in Abschnitt 5.3.2.

Die Intention der *stimulated recalls* ist es, die videographierten Unterrichtsstunden nachzubespochen, um handlungsleitenden Vorstellungen zum Lehren und Lernen zu charakterisieren (vgl. Abschnitt 2.2.3) sowie das Zusammenspiel von Einflussfaktoren der Materialnutzung auf Seiten der Lehrperson, des Materials und des Unterrichts zu erheben. Diese Kombination von Unterrichtsbeobachtungen und *stimulated recalls* zur Untersuchung des Implementationsprozesses wählten bspw. auch Collopy (2003), Roehrig, Kruse und Kern (2007) oder Davis et al. (2017). Mittels ausgewählter Videoprompts als Erinnerungsstütze, welche auf einem Notebook abgespielt werden, wird die Lehrperson zu Kommentaren zu konkreten Unterrichtssituationen und zur Reflexion der Unterrichtsstunde angeregt, wobei unter Reflexion sehr allgemein in Anlehnung an die Kategorisierung von Schön (1983) *reflection on action* verstanden wird.⁴⁷ Weiterhin wird die Lehrperson zu ihren verfolgten Zielen, getroffenen Handlungsentscheidungen und möglichen Modifikationen für zukünftige Unterrichtsreihen befragt. Der Schwerpunkt liegt dabei, dem Untersuchungsgegenstand entsprechend, auf der Nutzung und Implementierung von Materialien. Vor Beginn des Interviews wird das entsprechende Unterrichtsvideo von der Forscherin analysiert und zentrale Stellen der Unterrichtsstunde für das Interview herausgesucht. Die Selektion der Unterrichtssituationen wird im weiteren Verlauf beschrieben.

Da die *stimulated recalls* individuell auf die jeweiligen Unterrichtssituationen abgestimmt werden, sind sie weniger vorstrukturiert als das Einstiegsinterview. Dennoch dient ein Leitfaden als Strukturierungshilfe und zur Orientierung, welcher individuell und stundenspezifisch angepasst wird. Somit wird ein offenes Vorgehen mit einer standardisierten Befragungsform kombiniert.

Für die *stimulated recalls* müssen die für die Materialnutzung relevanten Phasen einer Unterrichtsstunde identifiziert werden, welche im Interview als Videoprompts dienen können. Laut der IPN-Videostudie sind zentrale Unterrichtsphasen des Physikunterrichts der Unterrichtseinstieg, die Durchführung sowie die Vor- und Nachbereitung eines Experiments, die Bearbeitung von Arbeitsaufträgen und Sicherungsphasen (Prenzel, Duit, Euler & Sei-

⁴⁷Es gibt viele verschiedene Ansätze oder Verständnisse zu Reflexion. Häufig wird darunter eine Verknüpfung von theoretischen Modellen und Handlungspraxis verstanden (Fraefel, 2017). In diesem Kontext wird Reflexion jedoch allgemeiner als „im Nachhinein über eine Unterrichtsstunde nachdenken“ aufgefasst.

del, 2001). Da in dieser Untersuchung die Erfassung von Charakteristika der Lehrperson im Vordergrund steht, werden ebendiese Unterrichtssituationen ausgewählt, da sie Rückschlüsse auf die Vorstellungen zum Lehren und Lernen (im Physikunterricht), die verfolgten Ziele und das Vorgehen bei der Nutzung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen zulassen.

Darüber hinaus wird zwischen Unterrichtssituationen unterschieden, welche während des *stimulated recalls* als Erinnerungshilfe und zur Animierung von Kommentaren durch die Lehrperson angesehen werden, und Unterrichtssituationen, die auch ohne Videosequenz gut nachbesprochen werden können. Es werden zwei oder drei Szenen pro Unterrichtsstunde herausgesucht. Dazu werden, wie oben genannt, die Schlüsselstellen der jeweiligen Unterrichtsstunde identifiziert. Pro *stimulated recall* werden also zwei bzw. drei Unterrichtssequenzen mit einem Umfang von zwischen zwei und vier Minuten betrachtet (vgl. Abschnitt 2.2.3). Nach den genannten Kriterien können immer eindeutig zwei bis drei entscheidende Unterrichtssequenzen selektiert werden. Weitere Unterrichtssituationen, welche auch ohne das Abspielen von Videosequenzen nachbesprochen werden können, betreffen zumeist den Einsatz von Materialien oder Medien. Insbesondere die Verwendung von Arbeitsblättern oder die Gestaltung von Tafelbildern kann gut unter Vorlage des Arbeitsblatts bzw. einem Foto des Tafelbilds besprochen werden.

Darüber hinaus wird auf weitere Aspekte der Unterrichtsstunde eingegangen. Bspw. werden allgemeine Aspekte wie die Authentizität der videografierten Unterrichtsstunde im Vergleich zum sonstigen Unterricht und die verfolgten Ziele abgefragt. Darüber hinaus wird auch die Nutzung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen zur Vorbereitung der Unterrichtsstunde besprochen. Ferner ist es von Interesse, ob und wenn ja, wie die Lehrperson das bereitgestellte Unterrichtskonzept in die Unterrichtsplanung einbezogen hat – falls dies nicht ohnehin durch die eingesetzten Arbeitsblätter o.Ä. offensichtlich ist. Weiterhin werden Begründungen zu den eingesetzten Sozialformen im Unterricht abgefragt, um weitere Informationen zu den (handlungsleitenden) Vorstellungen zum Lehren und Lernen der befragten Lehrperson sammeln zu können.

Somit ergeben sich die folgenden Leitfragen für das Stimulated-Recall-Interview:

- Beispielfragen zu den Unterrichtssituationen:
 - Welche Ziele haben Sie mit dieser Unterrichtssituation verfolgt?
 - Warum haben Sie mögliche Hypothesen für den Ausgang des Experiments vorgegeben?
 - Was haben Sie für Äußerungen von den Schülerinnen und Schülern erwartet?

-
- Was glauben Sie, ist bei den Schülerinnen und Schülern am Ende der Stunde hängen geblieben?
 - Warum haben Sie sich so viel Zeit für diese Unterrichtsphase genommen?
 - Welche Ziele haben Sie mit der gesamten Unterrichtsstunde verfolgt?
 - Auf welche Unterrichtsmaterialien haben Sie bei der Planung dieser Stunde zurückgegriffen und warum?
 - Haben Sie auch das bereitgestellte Unterrichtskonzept zur Vorbereitung der Stunde verwendet?
 - Warum haben Sie sich für die Arbeitsformen Klassengespräch und Partnerarbeit in der Stunde entschieden?

In einem nächsten Schritt werden nun die Leitfragen strukturiert und zu einem Leitfaden angeordnet. Wie bereits für die Entwicklung des Leitfadens für das Einstiegsinterview beschrieben, werden zunächst allgemeine und unverfängliche Fragen gestellt, um die befragte Lehrperson ins Reden kommen zu lassen und Artefakte sozialer Erwünschtheit zu reduzieren.

Da das *stimulated recall* in der Regel nicht direkt im Anschluss an die beobachtete Unterrichtsstunde stattfindet, wird zunächst von der Interviewerin ein grober Überblick über das Stundenthema und den Unterrichtsverlauf auf Grundlage eines Unterrichtsprotokolls gegeben. Im Anschluss daran werden der Lehrperson allgemeine Fragen zur Unterrichtsstunde gestellt, bspw. ob es sich trotz Videographie um eine typische Unterrichtsstunde handelt, welche Entscheidungen bei der Unterrichtsplanung getroffen und welche Ziele mit der Stunde verfolgt wurden.

Anschließend werden die ausgewählten Unterrichtssequenzen abgespielt und nachbesprochen. Auf diesem Teil des Interviews liegt der Schwerpunkt, weshalb hierfür der größte Zeitanteil aufgewendet wird. Wurden Materialien wie Arbeitsblätter, Auszüge aus dem Schulbuch oder Power-Point-Präsentationen verwendet, werden diese im Anschluss an die vorgespielten Unterrichtssequenzen besprochen.

Abschließend werden Fragen zu den verwendeten Arbeitsformen und der Verwendung des bereitgestellten Unterrichtskonzepts gestellt. Letzteres wird absichtlich am Ende des Leitfadens positioniert und eher beiläufig abgefragt, damit die Lehrpersonen sich nicht unter Druck gesetzt fühlen, MILQ zu verwenden oder gar eine Erwartungshaltung der Implementierung seitens der Forscherin vermuten und sozial erwünscht antworten.

Diese Struktur wurde auch nach der Pilotierung beibehalten. Es wird lediglich der Einstieg erweitert und von der Interviewerin etwas ausführlicher

ein Rückblick gegeben, weil in der Pilotierung deutlich wurde, dass die befragten Lehrpersonen die jeweilige Stunde nicht mehr im Detail vor Augen hatten und daher auch Fragen zur Unterrichtsplanung nicht auf Anhieb beantworten konnten. Darüber hinaus stellt sich in der Pilotierung heraus, dass manche Lehrkräfte teilweise sehr frei beginnen, über die Unterrichtsstunde zu berichten. Daher werden die Interview-Fragen ausgeschärft, damit deutlicher wird, worauf die Interviewerin hinauswill, und mehr Nachfragen eingebaut, um das Interview bei Bedarf wieder auf relevante Themenbereiche lenken zu können.

Daraus ergibt sich abschließend die folgende Struktur für die Stimulated-Recall-Interviews:

1. Einstieg:
 - 1.1. Rückblick auf die Unterrichtsstunde
 - 1.2. Abfrage der Authentizität der Unterrichtsstunde
 - 1.3. Unterrichtsplanung der Unterrichtsstunde
2. Hauptteil:
 - 2.1. Besprechung von Unterrichtssituation 1
 - 2.2. Besprechung von Unterrichtssituation 2
 - 2.3. Besprechung von Unterrichtssituation 3 bzw. Besprechung der eingesetzten Materialien
3. Schluss:
 - 3.1. Begründung der Wahl der Sozialformen
 - 3.2. Nutzung des bereitgestellten Unterrichtskonzepts MILQ
 - 3.3. Möglichkeit für Ergänzungen durch die Lehrperson

Der vollständige Leitfaden des Stimulated-Recall-Interviews befindet sich im Anhang.

5.3.1.3. Abschlussinterview

Das Abschlussinterview wird nach Beendigung der Unterrichtsreihe zur Quantenphysik geführt und verfolgt das Ziel, die Lehrperson über die gesamte Unterrichtsreihe reflektieren zu lassen. Dadurch können zum einen Charakteristika der Lehrperson und zum anderen Wechselwirkungen zwischen der Lehrperson, den verwendeten Materialien und dem Unterricht erhoben werden. Der Grundstruktur des Forschungsdesigns folgend sollen auf diese Weise nicht nur mögliche Einflussfaktoren der Materialnutzung, sondern auch deren Zusammenspiel genauer charakterisiert werden.

Es werden, wie in den vorausgehenden Interviews, die Planung und die inhaltlichen Schwerpunkte der Unterrichtsreihe sowie darüber hinaus auch die thematische Reihenfolge und die Zufriedenheit mit der Unterrichtsreihe erfragt. Insgesamt richtet sich der Fokus primär auf die Nutzung und Implementierung der bereitgestellten materialgestützten Unterrichtskonzeption MILQ während der Unterrichtsreihe. Insbesondere die Verwendung des bereitgestellten Unterrichtskonzepts, das abschließende Urteil der Lehrperson hierzu und wahrgenommene Randbedingungen der Implementierung sollen nach der Beendigung der Unterrichtsreihe erfasst werden. Weiterhin werden erneut die Selbstwirksamkeitserwartungen zum Unterrichten von Quantenphysik abgefragt um zu untersuchen, ob diese einer Veränderung seit dem Einstiegsinterview unterliegen und inwieweit diese mit der Nutzung des bereitgestellten Unterrichtskonzepts in Beziehung gesetzt werden können.

Zur Entwicklung eines Leitfadens werden in einem ersten Schritt, analog zum Vorgehen bei den zuvor beschriebenen Interviewleitfäden, Themenbereiche gesammelt, zu denen dann in einem zweiten Schritt Leitfragen entwickelt und abschließend zu einem Leitfaden angeordnet werden. Das Abschlussinterview greift aus den vorangehenden Interviews viele Aspekte auf mit der Intention, bspw. Abweichungen von der ursprünglichen Planung zu erfragen oder geäußerte Absichten mit den tatsächlichen Handlungen zu konfrontieren. Folglich können Teile aus den bereits entwickelten Leitfäden ins Abschlussinterview eingebaut werden.

Insbesondere zur Materialnutzung werden allerdings weiterführende Fragen entwickelt, um ein abschließendes Urteil über MILQ zu erhalten. Diese zielen vor allem auf die Akzeptanz und die erlebte Belastung durch die Umsetzung des bereitgestellten Unterrichtskonzepts ab (vgl. Vollstädt et al., 1999). Ferner werden abschließende Fragen zur Unterrichtsreihe gestellt. Es sollen der Umfang, die thematische Abfolge, gesetzte Schwerpunkte, die Nutzung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen während der Unterrichtsreihe und die Zufriedenheit der Lehrperson mit dem Verlauf der Unterrichtsreihe erfasst werden. Wie zuvor erwähnt, werden erneut die Selbstwirksamkeitserwartungen zum Unterrichten von Quantenphysik abgefragt. Zudem soll die Lehrperson zu einem abschließenden Fazit und der Nennung möglicher Konsequenzen für den nächsten Durchgang angeregt werden, insbesondere in Bezug auf die Verwendung des bereitgestellten Unterrichtskonzepts.

Demnach ergeben sich für das Abschlussinterview die folgenden Leitfragen:

- Wie sind Sie bei der Planung der Unterrichtsreihe vorgegangen?
- In welcher Reihenfolge haben Sie die Themen zur Quantenphysik unterrichtet und warum haben Sie sich für diese Reihenfolge entschieden?

- Was ist Ihre Einschätzung zum bereitgestellten Materialordner?
- Würden Sie sagen, dass das bereitgestellte Unterrichtskonzept Ihre Unterrichtsreihe beeinflusst hat?
- Auf welche weiteren Materialien haben Sie bei der Planung der Unterrichtsreihe zurückgegriffen und wofür?
- Wie sicher fühlen Sie sich beim Unterrichten von Quantenphysik?

Abschließend werden die Leitfragen zu einem Leitfaden strukturiert, wozu das Interview zunächst in drei Teile gegliedert wird. Im ersten Teil werden allgemein der Umfang der Unterrichtsreihe und die Zufriedenheit erfragt, da zu diesen Aspekten die Lehrpersonen direkt etwas sagen und sich so gedanklich auf die Unterrichtsreihe einstellen und zurückerinnern können.

Der eigentliche Schwerpunkt liegt auf dem Hauptteil, in dem zuerst Fragen zum Vorgehen bei der Unterrichtsreihe gestellt werden. Danach kann bei beobachteten Diskrepanzen die befragte Lehrperson mit in vorangehenden Interviews geäußerten Absichten konfrontiert werden (vgl. Fischler, 2000a). Diese Fragen werden individuell für die jeweiligen Lehrpersonen generiert. Daran anschließend wird die Umsetzung des bereitgestellten Unterrichtskonzepts und eine abschließende Einschätzung erfragt. Darüber hinaus wird gefragt, ob weitere Materialien während der Unterrichtsreihe verwendet wurden. Abschließend werden Fragen zu den Selbstwirksamkeitserwartungen zum Unterrichten von Quantenphysik gestellt.

Schließlich wird im letzten Teil des Interviews nach Modifikationen für zukünftige Durchführungen der Unterrichtsreihe und weiteren Wünschen an Unterstützungsmaßnahmen, die so in der Form bislang fehlen, gefragt und die Lehrperson zu einem abschließenden Fazit angeregt, was den Abschluss der Datenerhebung abrundet.

Der Leitfaden dieses Interviews musste von allen Leitfäden nach der Pilotierung am stärksten angepasst werden, weil der Leitfaden mit der Erwartungshaltung konstruiert wurde, dass die teilnehmenden Lehrkräfte sich in Auszügen an dem bereitgestellten Unterrichtskonzept MILQ orientieren würden. Infolgedessen wurden Fragen wie „Würden Sie sagen, dass das Unterrichtskonzept Ihre Unterrichtsreihe sehr beeinflusst hat?“ gestellt. In der Pilotierung wurde hingegen deutlich, dass die teilnehmenden Lehrkräfte nur wenig aus dem bereitgestellten Unterrichtskonzept umsetzten. Aus diesem Grund wurden auf Basis der Erkenntnisse aus der Pilotierung viele Fragen umformuliert, um zu erheben, inwieweit das bereitgestellte Unterrichtskonzept überhaupt Einfluss auf die Unterrichtsreihe hatte und weshalb alternative Materialien genutzt wurden. Insgesamt ändert sich dadurch wenig an der Struktur des Interviews, sondern vor allem an den Nuancen in den Frageformulierungen.

Weiterhin stellte sich in der Pilotierung heraus, dass die teilnehmenden Lehrkräfte sich kaum mit Metainformationen zum Aufbau und zur Intention von MILQ auseinandergesetzt hatten. Stellvertretend dafür steht ein Übersichtsartikel von Müller (2008), der in dem bereitgestellten Materialordner dem Lehrtext vorangestellt ist. Daher werden die teilnehmenden Lehrkräfte in Haupterhebung explizit gefragt, inwiefern sie den vorangestellten Artikel gelesen haben und welche Ziele das Unterrichtskonzept ihrem Verständnis nach verfolgt. Durch solche beispielhaften konfrontativen Fragen sollen die Lehrkräfte stärker „aus der Reserve“ gelockt werden. Aus diesem Grund werden insgesamt vermehrt konfrontative bzw. nachhakende Fragen gestellt, um mehr Informationen zu den zugrundeliegenden Gedankenprozessen der Lehrpersonen und dem Grad der Auseinandersetzung mit MILQ zu erlangen.

Die abschließende Struktur des Abschlussinterviews bildet sich daher wie folgt:

1. Einstieg:
 - 1.1. Umfang der Unterrichtsreihe
 - 1.2. Zufriedenheit mit der Unterrichtsreihe
2. Hauptteil:
 - 2.1. Vorgehen in der Unterrichtsreihe
 - 2.2. Konfrontation mit zuvor geäußerten Intentionen
 - 2.3. Nutzung und Implementierung von Unterrichtsmaterialien während der Unterrichtseihe
 - 2.4. Selbstwirksamkeitserwartungen zum Unterrichten von Quantenphysik
3. Schluss:
 - 3.1. Konsequenzen oder Modifikationen für den nächsten Durchgang
 - 3.2. Wünsche für weitere Unterstützungsmaßnahmen
 - 3.3. Möglichkeit für Ergänzungen der Lehrkraft

Der vollständige Leitfaden des Abschlussinterviews befindet sich im Anhang.

5.3.2. Unterrichtsbeobachtungen

Da es die Intention dieser Arbeit ist, das Nutzungsverhalten materialgestützter Unterrichtskonzeptionen durch Lehrkräften zu erforschen, ist es erforderlich, die Umsetzung von Materialien im Unterricht zu erfassen (z.B. Roehrig, Kruse & Kern, 2007; Davis et al., 2017; Pringle, Mesa & Haynes, 2017). Auf diese Weise können im Unterricht eingesetzte Elemente aus MILQ

wie Arbeitsblätter oder Simulationen oder alternativ eingesetzte Materialien wie Schulbücher sowie Diskrepanzen zwischen geäußerten Handlungsabsichten und tatsächlichen Handlungsentscheidungen identifiziert werden. Daher bilden die Unterrichtsbeobachtungen die Basis der Stimulated-Recall-Interviews.

Dieses Vorgehen bietet sich an, um die Umsetzung von Materialien im Unterricht sowie die dazu von den Lehrkräften getroffenen Entscheidungen und aufgestellten Materialauswahlkriterien zu untersuchen. Im Abschlussinterview besteht zudem die Möglichkeit, mehr über die Umsetzung des bereitgestellten Unterrichtskonzepts für die gesamte Unterrichtsreihe zu erfragen und die teilnehmenden Lehrkräfte mit Äußerungen aus dem Einstiegsinterview zu ihrer Planung und Beobachtungen aus ihrer tatsächlichen Umsetzung zu konfrontieren.

Eine Analyse der Sachstruktur der beobachteten Unterrichtsstunden wird hingegen nicht angestrebt, da das aufwändig zu bewerkstelligen wäre und die teilnehmenden Lehrkräfte stattdessen in den *stimulated recalls* zum Einfluss von MILQ auf die Struktur der Unterrichtsstunde befragt werden können. Weiterhin wird keine Analyse der Unterrichtsqualität der beobachteten Unterrichtsstunden durchgeführt, da sich die vorliegende Untersuchung auf die Interaktion zwischen Lehrkräften und Materialien und weniger auf deren Auswirkungen auf die Wirksamkeit von Unterricht konzentriert (obwohl das sicherlich auch eine interessante Forschungsfrage wäre).

Die Ergebnisse der ersten Phase der IPN-Videostudie suggerieren, dass einige wenige Unterrichtsbeobachtungen pro Themengebiet ausreichen, um typische Charakteristika des Physikunterrichts in einer Jahrgangsstufe und zu einem bestimmten Thema zu erhalten, weshalb von der ersten zur zweiten Phase der IPN-Videostudie die Anzahl der videographierten Unterrichtsstunden von sechs auf zwei Unterrichtsstunden pro Lehrperson für die Inhaltsbereiche *Mechanik* und *Optik* reduziert wurde (Seidel et al., 2006). Auch in der vorliegenden Untersuchung ist sowohl der fachliche Inhalt (Quantenphysik) als auch die Schulform (Gymnasium, Sekundarstufe II) festgelegt, um eine möglichst vergleichbare Datenbasis zu schaffen. Daher werden pro Lehrperson zwei Unterrichtsstunden aus der Unterrichtsreihe zur Quantenphysik zu den Inhaltsfeldern Photonen und Elektronen als Quantenobjekte videographiert. In den Einheitlichen Prüfungsanforderungen für die Abiturprüfung (KMK, 2004a) ist festgelegt, dass diese Inhalte in allen Bundesländern unterrichtet werden. Weiterhin spielen Photonen und Elektronen als Quantenobjekte in dem bereitgestellten Unterrichtskonzept aufgrund ihrer spiralcurricularen Abfolge eine zentrale Rolle.

Ferner kann durch diese Aufteilung eine Unterrichtsstunde zu Beginn und eine eher zum Ende der Unterrichtsreihe videographiert werden, um einen aussagekräftigen Eindruck des typischen Unterrichtsgeschehens während der

Unterrichtsreihe zur Quantenphysik zu bekommen. Den teilnehmenden Lehrkräften werden keine Vorgaben zur Unterrichtsstunde gemacht, um ein alltagsnahes Setting zu ermöglichen. Durch die Videographie von zwei Unterrichtsstunden kann einerseits eine möglichst realistische Einschätzung der Materialnutzung im Unterricht zum Thema Quantenphysik je Lehrperson und ein ressourcenorientiertes Vorgehen während der Datenerhebung andererseits erfolgen.

Um möglichst gleiche Rahmenbedingungen für die Videographie des Unterrichts zu schaffen, wird das Manual zur Unterrichtsvideographie von Vogelsang (2014) in Anlehnung an die IPN-Videostudie (Seidel, Dalehefte & Meyer, 2001) befolgt. Um die individuelle Situation vor Ort zu dokumentieren, wird ein Protokoll geführt, in dem die Positionen der Kameras und die Sitzverteilung der Schüler*innen festgehalten wird (vgl. Seidel, Dalehefte & Meyer, 2001).

Als Beeinträchtigung dieses Vorgehens muss jedoch berücksichtigt werden, dass das Filmen das jeweilige Unterrichtsgeschehen beeinflusst. Insofern stellt sich die Frage, inwiefern die videographierten Unterrichtsstunden repräsentativ für das typische Unterrichtsgeschehen sind. Dies stellt eine grundsätzliche methodologische Schwierigkeit dar, weshalb die gefilmten Lehrkräfte im anschließenden *stimulated recall* nach ihrer Einschätzung zur Repräsentativität und Authentizität der Unterrichtsstunde gefragt werden. Im Allgemeinen geben die Lehrkräfte an, dass es sich um typische Unterrichtsstunden handelt (vgl. Abschnitt 7.3.2).

5.3.3. Sammeln von Notizen der Lehrkräfte und von im Unterricht eingesetzten Materialien

Um weitere Informationen über das Nutzungsverhalten materialgestützter Unterrichtskonzeptionen der teilnehmenden Lehrkräfte und einen Gesamteindruck über die gesamte Unterrichtsreihe zu erhalten, werden sowohl die im Unterricht eingesetzten Materialien wie Arbeitsblätter, Folien für den Overheadprojektor oder Power Point-Präsentationen als auch Notizen der Lehrkräfte in Form von Kursbucheinträgen und gegebenenfalls vorliegendem Skript als auch der schulinterne Lehrplan gesammelt (vgl. Davis et al., 2017).

Die gesammelten Materialien aus den Unterrichtsstunden werden daher als Stimulus in den *stimulated recalls* und Materialien wie die Kursbucheinträge, der schulinterne Lehrplan oder ausgearbeitete Skripte als Stimulus für das Abschlussinterview eingesetzt (vgl. Abschnitt 5.3.1). Auf diese Weise können die teilnehmenden Lehrkräfte zu Kriterien und wahrgenommenen Rahmenbedingungen für die Auswahl und Modifikation von Materialien befragt werden. So können Erkenntnisse zu Wirkmechanismen zwischen verschiedenen

Einflussfaktoren der Nutzung gewonnen werden. Darüber hinaus bieten die Kursbucheinträge einen Überblick über den Umfang und die Themenabfolge der gesamten Unterrichtsreihe. Zudem kann dadurch für die beobachteten Unterrichtsstunden rekonstruiert werden, welche Elemente aus dem bereitgestellten Unterrichtskonzept MILQ adaptiert und welche Modifikationen vorgenommen wurden. Ferner können dadurch schulspezifische Absprachen in der Fachschaft in Form eines schulinternen Lehrplans festgestellt und deren Einfluss auf die Unterrichtsreihe untersucht werden.

Ursprünglich war es angedacht, die eingesetzten Materialien der gesamten Unterrichtsreihe zu sammeln, um so einen Überblick über die gesamte Reihe – neben den beiden videographierten Unterrichtsstunden – zu bekommen. Da jedoch mehrere teilnehmende Lehrkräfte vergaßen, Arbeitsblätter aus den nicht-beobachteten Unterrichtsstunden mitzubringen oder es sich im Nachhinein nicht eindeutig rekonstruieren ließ, welche Teile eines Arbeitsblatts von den Schüler*innen bearbeitet wurden und welche nicht, wird auf das Sammeln von eingesetzten Materialien über die beobachteten Unterrichtsstunden hinaus verzichtet (mit Ausnahme der Kursbucheinträge).

Dadurch stehen die beobachteten Unterrichtsstunden sehr im Fokus, was sich nachteilig auswirken könnte, falls diese Unterrichtsstunden (und die dort eingesetzten Materialien) nicht repräsentativ sein sollten. Es ist bspw. vorstellbar, dass Artefakte durch soziale Erwünschtheit wie besonders sorgfältig ausgearbeitete Arbeitsblätter entstehen. Dies wird bei der Ergebnisdarstellung berücksichtigt. Nichtsdestotrotz lassen sich Rückschlüsse auf das Nutzungsverhalten und Kriterien für die Auswahl von Materialien ziehen.

5.4. Zeitlicher Ablauf der Datenerhebung und Rahmenbedingungen

In diesem Unterkapitel wird die Rekrutierung der Probanden, der zeitliche Ablauf der Datenerhebung, Abweichungen vom geplanten Vorgehen (vgl. Unterkapitel 5.3) und anschließend die Rahmenbedingungen der einzelnen Erhebungsinstrumente für die Durchführung erläutert und begründet.

Zur Rekrutierung von Probanden werden Gymnasien im Umfeld von Paderborn und Umgebung kontaktiert sowie gezielt Lehrkräfte über persönliche Kontakte angefragt. Dies geschieht entweder telefonisch über das Sekretariat oder per Email an einzelne Physiklehrkräfte bzw. an die Fachschaft Physik der jeweiligen Schule. Interessierte Lehrkräfte werden über die Ziele und den groben Ablauf der Studie informiert. Auf diese Art und Weise konnten fünf Lehrkräfte für die Pilotierungsphase und elf für die Haupterhebung gewonnen werden. Eine genauere Beschreibung der Zusammensetzung der Stichprobe befindet sich in Kapitel 6.

Die Datenerhebung findet in der Regel zu vier Erhebungszeitpunkten statt (vgl. Abb. 5.4). Zum ersten Erhebungszeitpunkt wird das Einstiegsinterview geführt. Beim zweiten wird die erste Unterrichtsstunde zum Thema Photon bzw. Elektron als Quantenobjekt videographiert. Diese Unterrichtsstunde ist häufig auch die erste Unterrichtsstunde der Unterrichtsreihe. Beim dritten Erhebungszeitpunkt wird eine weitere Unterrichtsstunde zu dem jeweils anderen Thema videographiert und das erste *stimulated recall* zur ersten Unterrichtsbeobachtung geführt. Zum letzten Erhebungszeitpunkt wird die zweite Unterrichtsbeobachtung im zweiten *stimulated recall* nachbesprochen und das Abschlussinterview geführt. So können sechs Datenerhebungen an vier Erhebungszeitpunkten durchgeführt werden, was zwecks Terminabsprachen und bei weiten Anfahrtswegen aus untersuchungspraktischen Gründen ökonomisch ist. Dieser Ablauf hat jedoch den Nachteil, dass beim dritten Erhebungszeitpunkt nach der zweiten Unterrichtsbeobachtung die Nachbesprechung der ersten Unterrichtsbeobachtung erfolgt. Daher ist es wichtig, die befragten Lehrkräfte darauf hinzuweisen, sich explizit auf die zuerst gefilmte Unterrichtsstunde zu konzentrieren, um einer Vermischung der Kommentare zu beiden Unterrichtsstunden entgegenzuwirken. Bei einem kurzen Anfahrtsweg wird daher idealerweise das *stimulated recall* zur ersten Unterrichtsbeobachtung vor der zweiten Unterrichtsbeobachtung geführt. Dieser Ablauf wird jedoch nur bei zwei der teilnehmenden Lehrkräfte realisiert.⁴⁸

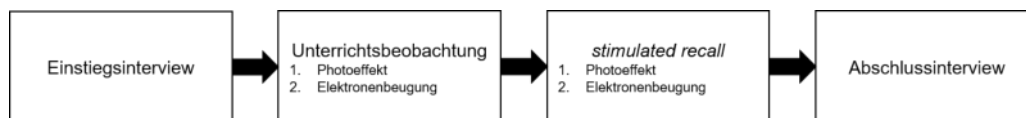


Abbildung 5.4.: Zeitliche Abfolge der Datenerhebung.

Ferner werden mit einer Lehrperson aus Mecklenburg-Vorpommern das Einstiegs- und das Abschlussinterview per Videoanruf geführt, um den Reiseaufwand zu reduzieren.

Für zwei der teilnehmenden Lehrkräfte konnte überdies nicht, wie geplant, Unterricht zu den beiden festgelegten Themen videographiert werden, weil eine Lehrperson erst nach Beginn der Unterrichtsreihe als Proband rekrutiert wurde und daher bereits das Thema Photonen als Quantenobjekte abgeschlossen hatte. Eine weitere Lehrperson fiel zu Beginn der Unterrichtsreihe krankheitsbedingt aus und wurde vertreten. Die vertretende Lehrperson handelte ebenfalls das Thema *Photonen als Quantenobjekte* bereits ab. In Absprache mit den teilnehmenden Lehrkräften wird daher eine andere Unterrichtsstunde zur Quantenphysik videographiert (in den Fallbeschreibungen wird darauf hingewiesen).

⁴⁸Alle Angaben beziehen sich auf die Haupterhebung.

Darüber hinaus konnten zwei weitere Fälle nicht vollständig erhoben werden; es liegen für diese Fälle jeweils nur eine Unterrichtsbeobachtung und ein *stimulated recall* vor. Im ersten Fall ist das der Tatsache geschuldet, dass die betreffende Lehrperson kurzfristig zum Schuljahresbeginn statt des geplanten Grundkurses einen Leistungskurs zugewiesen bekam. Aufgrund dieser kurzfristigen Änderung konnte lediglich die letzte Unterrichtsstunde der Unterrichtsreihe zur Quantenphysik videographiert werden. Im zweiten Fall konnte die Unterrichtsreihe von Beginn an begleitet werden, allerdings schob die betreffende Lehrperson einen Themenexkurs zur Elektrodynamik über mehrere Wochen ein und stieg trotz regelmäßiger Absprachen mit der Forscherin ohne Ankündigung wieder in die Unterrichtsreihe zur Quantenphysik ein. Bei der nächsten Kontaktaufnahme hatte die Lehrperson die Unterrichtsreihe bereits beendet, sodass keine weitere Unterrichtsvideographie möglich war.

Die Einschränkungen der Datenerhebung werden bei der Diskussion der Gütekriterien (Unterkapitel 7.3) und in der Ergebnisdarstellung (Kapitel 8) aufgegriffen, um Limitationen der Interpretation der Daten aufzuzeigen. Aufgrund der qualitativen Anlage des vorliegenden Forschungsprojekts stellen eine eingeschränkte Vergleichbarkeit der Fälle bzw. eine unvollständige Datenlage bei der Auswertung und Interpretation jedoch kein größeres Problem dar, weil auf dieser Datenbasis dennoch explorative Erkenntnisse gefolgert werden können.

Im Folgenden werden nun die Rahmenbedingungen der einzelnen Erhebungsinstrumente und deren Umsetzung berichtet. Es werden alle Interviews von derselben Person nach Möglichkeit in einem ruhigen Raum geführt, um möglichst gleiche Ausgangsvoraussetzungen zu schaffen. Darüber hinaus werden alle Interviews mit einem Diktiergerät aufgezeichnet und im Anschluss für die Auswertung transkribiert (vgl. Kapitel 7). Dem Einstiegsinterview geht ein erstes Treffen von Proband und Forscherin voraus, bei dem die teilnehmenden Lehrkräfte den Materialordner mit dem bereitgestellten Unterrichtskonzept MILQ erhalten. In drei Fällen fand dieses erste Gespräch aus logistischen Gründen lediglich am Telefon statt und der Ordner wurde per Post versendet. In diesem Gespräch werden die teilnehmenden Lehrkräfte über die Ziele und den Ablauf der Studie informiert. Es werden Datenschutzerklärungen der Lehrkraft sowohl für die Audioaufzeichnungen der Interviews als auch für die Videoaufzeichnung der Unterrichtsstunden eingeholt und Vordrucke für die Datenschutzerklärungen der Schüler*innen und deren Erziehungsberechtigten ausgeteilt. Darüber hinaus wird mit den Lehrkräften besprochen, dass die Schulleitung über die Unterrichtsvideographie informiert werden muss und ob diese Aufgabe von der Forscherin oder der jeweiligen Lehrperson übernommen wird.

Weiterhin werden die Lehrkräfte gebeten, sich bis zum Einstiegsinterview einen ersten Eindruck vom bereitgestellten Unterrichtskonzept zu verschaffen, wobei der Grad der Auseinandersetzung den Lehrkräften überlassen wird. Dieses erste Vorgespräch findet mindestens eine Woche vor dem Einstiegsinterview statt, sodass den teilnehmenden Lehrkräften ausreichend Zeit bleibt, sich einen ersten Eindruck vom bereitgestellten Unterrichtskonzept zu verschaffen. In der Regel liegt der Zeitabstand im Bereich von zwei bis drei Wochen.

Das Einstiegsinterview dauert im Schnitt 62 Minuten (29 Minuten bis 105 Minuten)⁴⁹ und findet in der Regel an der Schule der befragten Lehrkräfte statt (einige wenige finden auch in der Universität statt). Der Materialordner mit dem bereitgestellten Unterrichtskonzept wird von der Forscherin mit ins Interview genommen, sodass die befragten Lehrkräfte sich explizit auf konkrete Beispiele bei ihren Kommentaren beziehen können.

Vor der ersten Unterrichtsbeobachtung werden die Datenschutzerklärungen der Schüler*innen und deren Erziehungsberechtigten unterschrieben gesammelt. Falls einzelne Schüler*innen nicht videographiert werden möchten oder keine Unterschrift der Erziehungsberechtigten vorliegt, werden die betreffenden Schüler*innen mit ihrem Einverständnis außerhalb des Blickwinkels der Kamera gesetzt. Falls die betreffenden Schüler*innen auch damit nicht einverstanden gewesen wären, bestünde die Möglichkeit, die jeweilige Person für diese Unterrichtsstunde in einem separaten Raum Aufgaben bearbeiten zu lassen. Dieser Fall ist allerdings nicht eingetreten. Je nach Bundesland kann es ebenfalls nötig sein, für die Videographie von Unterricht die Genehmigung der Schulkonferenz einzuholen, was in den betreffenden Fällen getan wurde.

Zwischen dem Einstiegsinterview und der ersten Unterrichtsbeobachtung liegen je nach Fall unterschiedliche Zeitspannen, da teilweise das Einstiegsinterview zeitlich deutlich vor Beginn der Unterrichtsreihe geführt wird, weil sich der Beginn dieser aufgrund verschiedener Gegebenheiten verzögert. In einem Extremfall liegen sechs Monate Zeitdifferenz dazwischen. Dies wird jedoch nicht als problematisch angesehen, da das Einstiegsinterview vor allem auf allgemeine Aspekte der Unterrichtsplanung und -durchführung abzielt. Im Schnitt liegen vier Wochen dazwischen.

Es werden vor allem Doppelstunden videographiert, da der Unterricht im Grund- und Leistungskurs zumeist in Doppelstunden à 90 Minuten stattfindet.

⁴⁹Die großen zeitlichen Schwankungen sind auf die Redefreude und die zur Verfügung stehende Zeit der teilnehmenden Lehrkräfte zurückzuführen. Für eine Lehrperson musste das Einstiegsinterview verkürzt werden, weil sich kurzfristig die Betreuungssituation ihrer Kinder geändert hatte. In diesem Fall wurde die Besprechung der demographischen Daten ins erste *stimulated recall* verlegt (dies erklärt das Minimum von 29 Minuten).

det. Es wurden aber auch einige Einzelstunden à 45 Minuten videographiert. Insgesamt wurden 24 Stunden und 45 Minuten Filmmaterial aufgezeichnet, das stellt im Schnitt 135 Minuten pro Fall (90 Minuten bis 180 Minuten) dar.

Die jeweiligen *stimulated recalls* finden in der Regel zwei bis vier Wochen im Anschluss an die betreffende Unterrichtsstunde statt. In einem Ausnahmefall (aufgrund der weiten Anfahrt nach Mecklenburg-Vorpommern) liegen für die erste Unterrichtsbeobachtung acht Wochen (dazwischen waren Weihnachtsferien) dazwischen. Das *stimulated recall* zur zweiten Unterrichtsbeobachtung findet direkt im Anschluss an den Unterricht statt, sodass keine erneute Anfahrt nötig ist. In der Methodenliteratur wird empfohlen, eine möglichst kurze Zeit zwischen Unterrichtsstunde und Nachbesprechung verstreichen zu lassen, damit die Lehrkräfte die Unterrichtssituationen möglichst gut rekonstruieren können (vgl. Abschnitt 2.2.3). Aus dieser Perspektive sind die Zeitdifferenzen in der vorliegenden Studie als sehr lang einzustufen. Insbesondere wird davon abgeraten, dass in der Zwischenzeit weitere Unterrichtsstunden mit der gleichen Klasse stattfinden, damit die befragte Lehrperson sich in ihren Ausführungen ausschließlich auf die beobachtete Unterrichtsstunde bezieht. Dies ist in der vorliegenden Arbeit aufgrund von ökonomischen und logistischen Gründen nicht möglich. Diese Einschränkungen werden daher akzeptiert und für die Ergebnisinterpretation diskutiert (vgl. Abschnitt 7.3.2).

Durchschnittlich dauern die *stimulated recalls* 39 Minuten (21 Minuten bis 54 Minuten). Wie im Einstiegsinterview wird auch für die *stimulated recalls* der Materialordner von MILQ von der Forscherin als Erinnerungsstütze mitgeführt.

Das Abschlussinterview findet zeitnah nach der Beendigung der Unterrichtsreihe statt. Da am selben Erhebungszeitpunkt in der Regel auch das zweite *stimulated recall* durchgeführt wird, liegen, wie bereits zuvor beschrieben, zwischen zwei und vier Wochen zwischen der letzten Unterrichtsbeobachtung und dem abschließenden Abschlussinterview. Das Abschlussinterview dauert im Schnitt 41 Minuten (15 Minuten bis 63 Minuten). Wie für die anderen Interviews wird der bereitgestellte Materialordner von der Forscherin mitgeführt, um konkrete Redeanlässe für ein abschließendes Urteil zu ermöglichen.

5.5. Zusammenfassung: Forschungsdesign und Methode

Zur Klärung der Forschungsfragen muss das Forschungsdesign der vorliegenden Untersuchung personenbezogene Merkmale auf Seiten der Lehrkräf-

te, materialbezogene Merkmale, externe Rahmenbedingungen der Implementierung, Wechselwirkungsprozesse zwischen verschiedenen Einflussfaktoren sowie interindividuelle Handlungsmuster erfassen. Da aus dem derzeitigen Forschungsstand zur Implementierung fachdidaktischer Innovation durch die Bereitstellung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen keine theoretisch ableitbaren und empirisch prüfbareren Hypothesen gefolgert werden können, wird ein qualitatives Forschungsdesign zur Gewinnung explorativer Erkenntnisse gewählt. Dazu werden Fallstudien mittels eines Multi-Methods-Ansatzes durchgeführt, um durch die Kombination verschiedener Erhebungsinstrumente die Breite und Tiefe des Nutzungsprozesses zu erfassen.

Da die Fälle vergleichbar sein sollen, wird exemplarisch eine fachdidaktisch innovative materialgestützte Unterrichtskonzeption für alle teilnehmenden Lehrkräfte kriteriengeleitet ausgewählt. Die Kriterien beruhen auf Erkenntnissen zur Materialnutzung bisheriger Interventionsstudien. Die Wahl fällt auf das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik, dessen Wirksamkeit im Vergleich zum herkömmlichen Lernweg zur Verbesserung der Unterrichtsqualität von Müller (2003) belegt wurde. Das Unterrichtskonzept wird den teilnehmenden Lehrkräften in Form eines Materialordners als Anregung für ihre Unterrichtsreihe fakultativ zur Verfügung gestellt.

Um Einflussfaktoren der Materialnutzung und Wechselwirkungsprozesse zwischen verschiedenen Faktoren zu untersuchen, wird der Implementationsprozess durch leitfadengestützte Interviews, Unterrichtsbeobachtungen und *stimulated recalls* begleitet. Auf diese Weise können Einblicke zu Überlegungen und Entscheidungen bei der Nutzung der materialgestützten Unterrichtskonzeption gewonnen werden. Nachteile dieser Erhebungsinstrumente bilden allerdings die hohe Inferenz der Daten und die Problematik der Verbalisierung automatisierter Handlungsrountinen, wobei letzteres eine grundsätzliche methodologische Schwierigkeit darstellt. Insofern wird das Forschungsdesign als solches als zielführend erachtet und die in Kauf genommenen Limitationen werden bei der Ergebnisdarstellung berücksichtigt und in der Diskussion der Gütekriterien näher beleuchtet.

Der Untersuchungsablauf setzt sich aus insgesamt sechs Erhebungsformaten zusammen. In einem allgemeinen Einstiegsinterview zu Beginn der Unterrichtsreihe werden Personenmerkmale der Lehrkräfte, das typische Vorgehen in der Unterrichtsvorbereitung, allgemeine Kriterien der Materialnutzung und ein erster Eindruck des bereitgestellten Unterrichtskonzepts MILQ erfragt. Während der Unterrichtsreihe werden weiterhin zwei Unterrichtsstunden zu den Themen *Photonen als Quantenobjekte* und *Elektronen als Quantenobjekte* videographiert, um Informationen über die Implementierung des bereitgestellten Unterrichtskonzepts zu erlangen. In den videographierten Unterrichtsstunden werden zudem alle von der Lehrperson eingesetz-

ten Materialien, wie bspw. Arbeitsblätter, eingesammelt. Die videographierten Unterrichtsstunden dienen als Grundlage für die beiden anschließenden *stimulated recalls*, in denen mittels Videoprompts konkrete Unterrichtssituationen nachbesprochen und Planungsentscheidungen bezüglich der Materialauswahl erfragt werden. Auf diese Weise können insbesondere Interdependenzen verschiedener Einflussfaktoren erfasst werden. Am Ende der Unterrichtsreihe wird ein Abschlussinterview geführt, in dem die befragten Lehrkräfte die gesamte Unterrichtsreihe reflektieren und abschließend Stellung zum bereitgestellten Unterrichtskonzept und dessen Umsetzung nehmen. Weiterhin können die teilnehmenden Lehrkräfte mit zuvor geäußerten Handlungsabsichten und tatsächlichen Handlungsentscheidungen in Bezug auf die Materialnutzung konfrontiert werden. Darüber hinaus werden die Kursbucheinträge sowie gegebenenfalls der schulinterne Lehrplan und Notizen der Lehrperson gesammelt, um ein möglichst vollständiges Bild der Unterrichtsreihe rekonstruieren zu können.

6. Stichprobe

Wie in Kapitel 5 begründet, wird für die vorliegende Untersuchung ein Fallstudien-Ansatz gewählt. Damit trotz eines geringen Stichprobenumfangs aussagekräftige Ergebnisse gewonnen werden können, werden Fälle mit möglichst unterschiedlichen Ausgangsvoraussetzungen mittels *Theoretical Sampling* ausgewählt (Strauss & Corbin, 1996; Kuckartz, 2018). Das bedeutet, dass gezielt vor dem Hintergrund des bisherigen Forschungsstands Lehrkräfte mit unterschiedlichen Voraussetzungen gesucht werden, die das Nutzungsverhalten von Materialien beeinflussen können (vgl. Kapitel 3). Im Laufe der Pilotierung können zudem anhand der bisherigen empirischen Erkenntnisse zusätzliche Kriterien aufgestellt und bei der Auswahl der Fälle für die Haupterhebung angewendet werden.

Einen wichtigen Faktor stellt der *Werdegang* einer Lehrperson (Lehramtsstudium, Quereinstieg, Tätigkeit als wissenschaftliche*r Mitarbeiter*in in der Fachdidaktik etc.) dar, weil er u.a. als distales Merkmal der fachdidaktischen bzw. fachlichen Expertise gewertet werden kann (vgl. Lipowsky, 2006). Insbesondere eine Variation der Fälle im Grad der Ausprägung der fachdidaktischen Expertise ist erstrebenswert, da das fachdidaktische Wissen als ein zentraler Bedingungsfaktor des professionellen Handelns von Lehrkräften identifiziert wurde (vgl. Abschnitt 2.2.1 & 2.2.2). Nichtsdestoweniger erscheinen auch Unterschiede in der fachlichen Expertise für die Untersuchung des Materialnutzungsverhaltens von Interesse, da diese zu einer erhöhten Selbstwirksamkeit beim Unterrichten des Themas *Quantenphysik* führen kann.

Weiterhin können *zusätzliche Tätigkeiten* einer Lehrperson wie eine Fachleiterstelle oder das Mitwirken in der Schulleitung ebenfalls als indirektes Maß für die Expertise gewertet werden. Darüber hinaus können solche zusätzlichen Aufgaben möglicherweise die zeitlichen Ressourcen einer Lehrperson für die Unterrichtsplanung einschränken, was sich wiederum auf die Materialnutzung auswirken könnte (vgl. Abschnitt 3.3.3).

Ein weiteres Kriterium für die Auswahl der Fälle bildet die *Berufserfahrung* als ausgebildete Lehrperson, da diese nachweislich das unterrichtliche Handeln einer Lehrperson und ihre Materialnutzung beeinflusst (vgl. Kapitel 3). Die *Erfahrung im Unterrichten von Quantenphysik* wird als zusätzlicher möglicher Einflussfaktor auf das Nutzungsverhalten von Materialien vermutet, da diese Einfluss auf die Entwicklung eines etablierten Vorgehens in der Unterrichtsreihe sowie auf das Vorhandensein bzw. den Umfang einer eige-

nen Materialsammlung zu dem Inhaltsbereich hat. In Studien wie von Forbes und Davis (2007), Tänzler (2011; 2017), Louws et al. (2017) oder Breuer, Vogelsang und Reinhold (2018) kann dieser Faktor nicht von der allgemeinen Berufserfahrung abgegrenzt und somit nicht als eigenständiger Faktor identifiziert werden, weshalb diese Einschätzung auf heuristischer Basis vorgenommen wird. Überdies werden bewusst Lehrkräfte *von verschiedenen Schulen und von der gleichen Schule* ausgewählt, da Austausch und Kollaboration in der Fortbildungsforschung als Gelingensfaktor für eine erfolgreiche professionelle Weiterentwicklung von Lehrkräften gelten, was sich möglicherweise auf das Selbststudium von fachdidaktisch innovativen Unterrichtskonzeptionen übertragen lässt (vgl. Unterkapitel 3.2).

Weiterhin werden bewusst Fälle *aus verschiedenen Bundesländern* ausgewählt, da sich in Studien zur Schulbuchnutzung Unterschiede im Nutzungsverhalten, insbesondere zwischen den alten und den neuen Bundesländern, zeigten (Merzyn, 1994; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012). Überdies unterscheiden sich die Bundesländer in ihren konkreten Lehrplanvorgaben, was außerdem als möglicher Bedingungsfaktor angenommen wird (vgl. Abschnitt 3.3). Zudem werden sowohl Lehrkräfte, die einen *Leistungskurs* unterrichten, als auch Lehrkräfte, die einen *Grundkurs* unterrichten, ausgewählt, weil so zum einen das Anspruchsniveau und möglicherweise der Grad der Verbindlichkeit der Lehrplanvorgaben (im Grundkurs haben typischerweise nicht alle Schüler*innen Physik als Abiturfach gewählt) variieren. Weiterhin richtet sich das bereitgestellte Unterrichtskonzept MILQ durch die Unterscheidung von Basis- und Aufbaukurs sowohl an Grundkurse als auch an Leistungskurse (vgl. Abschnitt 5.2.2), weshalb Unterschiede in der Implementierung von MILQ zu erwarten sind. Die teilnehmenden Lehrkräfte unterscheiden sich darüber hinaus hinsichtlich des *Geschlechts*, ihres *Zweifaches*, ihres *Stellenumfangs* (erst in der Haupterhebung abgefragt) und der *Jahrgangsstufe ihres aktuellen Physikkurses* (Q1 bzw. Q2).

Zur Rekrutierung von Probanden werden einerseits Gymnasien im Umfeld von Paderborn und Umgebung kontaktiert und andererseits gezielt Lehrkräfte über persönliche Kontakte angefragt. Dies geschieht entweder telefonisch über das Schulsekretariat oder per Email an einzelne Physiklehrkräfte bzw. an die Fachschaft Physik der jeweiligen Schule. Für die Pilotierung konnten auf diese Weise fünf Lehrkräfte als Probanden gewonnen werden. Mit drei der Lehrkräfte wurde lediglich das Einstiegsinterview zur Erprobung durchgeführt. Davon wurden wiederum nur zwei Interviews transkribiert und ausgewertet, da die Pilotierung der Optimierung des Forschungsdesigns, der Erprobung der Interviewleitfäden (vgl. Abschnitt 5.3.1) und der Entwicklung eines Kategoriensystems zur Auswertung diente (vgl. Unterkapitel 7.2). Diese drei Lehrkräfte unterrichteten zu dieser Zeit keinen Physikkurs zum Thema Quantenphysik und wurden lediglich auf Basis ihrer Erfah-

Initialen der Lehrkräfte ⁵⁰		PM	MD	TJ	CA	TB	Total
Werdegang	Lehramtsstudium			x	x		2
	WiMi Fachdidaktik	x	x		x		3
	Quereinstieg	x	x			x	3
Zweifach	Mathematik			x	x	x	3
	Elektrotechnik	x					1
	Chemie		x				1
	Informatik			x			1
Berufserfahrung	≤ 5 Jahre				x		1
	> 5 Jahre	x	x	x		x	4
Erfahrung QP	≤ 2 Mal				x		1
	> 2 Mal		x	x		x	3
Gleiche Schule wie...					TB	CA	2
Aktueller Physikkurs	Grundkurs				x	x	2
	Leistungskurs						0
	Q1				x	x	2
	Q2						0
Bundesland	NRW	x	x		x	x	4
	Niedersachsen			x			1
Geschlecht	Männlich	x	x	x	x	x	5
	Weiblich						0
Erhobene Daten	EI	x	x	x			3
	EI, UB, SR, AI				x	x	2
Gesamtanzahl							5

Tabelle 6.1.: Stichprobenbeschreibung der Pilotierung. EI: Einstiegsinterview; UB: Unterrichtsbeobachtung; SR: *stimulated recall*; AI: Abschlussinterview.

rungen um eine Einschätzung des bereitgestellten Materialordners gebeten. Mit den zwei verbleibenden Lehrkräften wurden das Einstiegsinterview, eine Unterrichtsbeobachtung (ohne Videographie), ein *stimulated recall* (ohne Videoprompts, sondern stattdessen direkt im Anschluss an die Unterrichtsstunde) und das Abschlussinterview durchgeführt. Eine Übersicht über die Stichprobe der Pilotierung liefert Tabelle 6.1.

Für die Haupterhebung wurden mittels *Theoretical Sampling* so viele Fälle erhoben, bis sich eine empirische Sättigung einstellte, also durch die Hinzunahme neuer Fälle keine neuen Erkenntnisse gewonnen wurden (Schreier, 2014; Krüger & Riemeier 2014). Auf die Kriterien, die zu einer Einschätzung

⁵⁰Es handelt sich bei allen verwendeten Namen der Pilotierung und der Haupterhebung um Pseudonyme.

⁵¹In Mecklenburg-Vorpommern werden Grundkurs- und Leistungskursschüler*innen gemeinsam unterrichtet.

6. Stichprobe

Initialen der Lehrkräfte		MP	MK	KS	LL	CS	ML	FK	CJ	AL	SM	TK	Total
Werdegang	LA		x		x		x	x	x	x	x	x	8
	WiMi FD							x			x		2
	QE	x		x		x							3
Zweifach	Mathematik	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	10
	Sport						x						1
	Chemie					x							1
Zusätzliche Aufgaben	Schulleitung							x					1
	Fachleiter*in								x				1
Berufserfahrung	≤ 5 Jahre										x	x	2
	> 5 Jahre	x	x	x	x	x	x	x	x	x			9
Erfahrung QP	≤ 2 Mal									x	x		2
	> 2 Mal	x	x	x	x	x	x	x	x			x	9
Stellenumfang	100 %	x		x		x	x	x	x	x	x	x	9
	2/3		x										1
	50 %				x								1
Gleiche Schule wie...					CS	LL							2
Aktueller Physikkurs	GK	x	x			x	x	x ⁵¹	x		x	x	8
	LK			x	x			x		x			4
Physikkurs	Q1	x				x	x		x		x	x	6
	Q2		x	x	x			x	x	x			6
Bundesland	NW			x	x	x	x		x	x	x	x	8
	HE		x										1
	NI	x											1
	MV							x					1
Geschlecht	Männlich	x		x			x	x	x	x	x	x	8
	Weiblich		x		x	x							3
Gesamtanzahl													11

Tabelle 6.2.: Stichprobenbeschreibung der Haupterhebung. LA: Lehramtsstudium, WiMi FD: Tätigkeit als wissenschaftliche*r Mitarbeiter*in in der Fachdidaktik, QE: Quereinstieg.

der empirischen Sättigung führen, wird in Abschnitt 7.3.2 eingegangen. Auf diese Weise können trotz einer niedrigen Fallzahl in Form von interindividuellen Handlungsmustern generalisierbare Erkenntnisse abgeleitet werden (Petri, 2014). Es wurden insgesamt elf Fälle ausgewählt, welche in Tabelle 6.2 vorgestellt werden.

7. Datenauswertung

Die vorliegende Untersuchung zielt darauf ab, Personen- und Materialmerkmale sowie Kontextfaktoren zu identifizieren, die die Materialnutzung von Lehrkräften beeinflussen. Darüber hinaus wird intendiert, Wirkmechanismen zwischen verschiedenen Einflussfaktoren der Materialnutzung zu charakterisieren und interindividuelle Handlungsmuster abzuleiten. Aus diesem Grund konzentriert sich die vorliegende Arbeit auf eine Charakterisierung der teilnehmenden Lehrkräfte in Bezug auf die Nutzung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen, weshalb der Schwerpunkt der Auswertung auf eine Analyse der Interviews gelegt wird. Die videographierten Unterrichtsstunden und die gesammelten eingesetzten Materialien der teilnehmenden Lehrkräfte dienen hingegen hauptsächlich als Gesprächsgrundlage für die *stimulated recalls* (vgl. Abschnitte 5.3.1 & 5.3.2) und werden darüber hinaus lediglich zum Abgleich der aus den Interviews gewonnenen Erkenntnisse, insbesondere zur Implementierung von MILQ, als methodologische Triangulation für Fallbeschreibungen hinzugezogen (vgl. Flick, 2014; Döring & Bortz, 2016). Zu diesem Zweck wird der Stundenverlauf der videographierten Unterrichtsstunden protokolliert, wobei die behandelten Themen, die Unterrichtsphasen (Wiederholung, Erarbeitung, Anwendung und Sicherung), die jeweilige Sozialform (Klassengespräch, Lehrervortrag, Gruppenarbeit, Schülerexperiment etc.) und die verwendeten Unterrichtsmaterialien notiert werden. Ein ähnliches Vorgehen wird in den Studien von Remillard (1999), Schneider und Krajeik (2002), Drake und Sherin (2006) sowie Pringle, Mesa und Haynes (2017) beschrieben, die bereits für die Wahl des Forschungsdesigns der vorliegenden Untersuchung als Orientierungsrahmen hinzugezogen wurden (vgl. Unterkapitel 5.1).

Die Auswertung der Interviews erfolgt mittels der inhaltlich strukturierenden und der evaluativen qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018). In einem deduktiv-induktiven Vorgehen wird ein Kategoriensystem entwickelt, das Personen- und Materialmerkmale sowie externe Rahmenbedingungen, die das Nutzungsverhalten der teilnehmenden Lehrkräfte beeinflussen, umfasst. Insofern repräsentiert bereits das entwickelte Kategoriensystem einen Teil der gewonnenen Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung.

Das Kategoriensystem wird auf der Grundlage der Pilotierungs-Interviews entwickelt und gemäß des verfolgten Grounded-Theory-Ansatzes (vgl. Unterkapitel 5.1) durch das zyklische Durchlaufen der Phasen *Datenerhebung*,

Datenauswertung und *Dateninterpretation* während der Haupterhebung weiterentwickelt. Die Verknüpfung eines Grounded-Theory-Forschungsansatzes nach Strauss und Corbin (1996) mit der qualitativen Inhaltsanalyse als Auswerteverfahren wird von Kuckartz (2018) sowie von Schreier, Stamann, Jansen, Dahl und Whittal (2019) für eine deduktiv-induktive Analyse qualitativer Daten befürwortet. Durch dieses explorative Vorgehen wird eine Offenheit für neue Erkenntnisse und Interpretationen ermöglicht, da bspw. bislang unerkannte Wirkmechanismen identifiziert und in den nachfolgenden Untersuchungszyklen näher analysiert werden können. In Abbildung 7.1 ist der chronologische Ablauf der Entwicklung des Kategoriensystems und der Codierung der Interviews dargestellt.

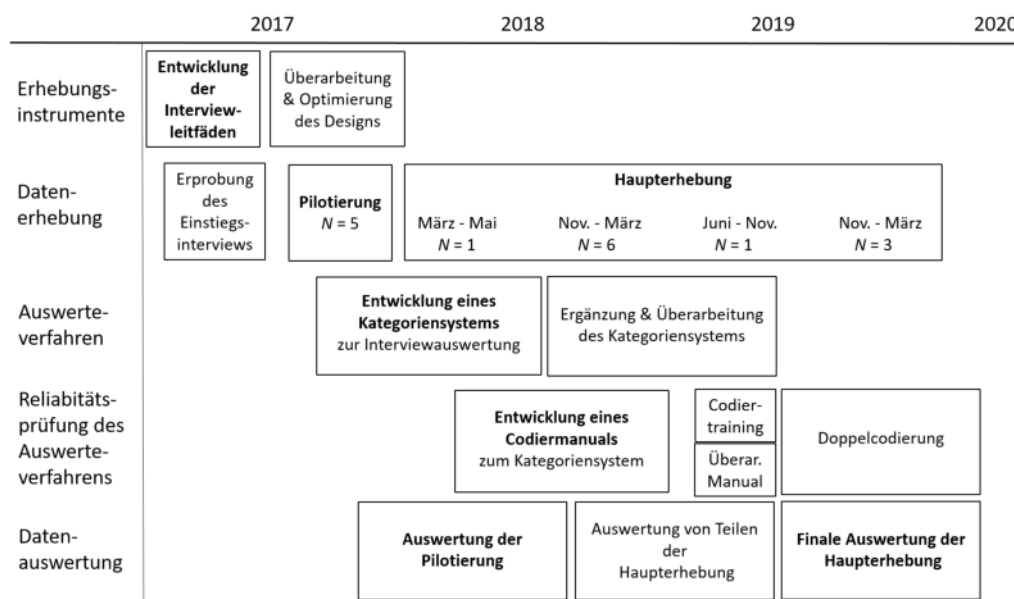


Abbildung 7.1.: Chronologischer Ablauf der Entwicklung des Kategoriensystems und der Codierung der Interviews.

In Unterkapitel 7.1 wird das Vorgehen bei der Transkription der Interviews beschrieben. Danach wird in Unterkapitel 7.2 zunächst die Wahl der Auswertemethode begründet. Im Anschluss wird der Entwicklungsprozess des Kategoriensystems sowie das fertige Kategoriensystem vorgestellt. Weiterhin wird die Codierung der Interviews beschrieben. In Unterkapitel 7.3 werden abschließend getroffene Maßnahmen zur Qualitätssicherung der erhobenen Daten und der daraus gezogenen Schlussfolgerungen vorgestellt sowie deren Aussagekraft und Generalisierbarkeit diskutiert.

7.1. Transkription der Interviews

Um eine Auswertung der geführten Interviews zu ermöglichen, werden die Audiodateien der Interviews in einem ersten Schritt der Auswertung transkribiert. Das Gesprochene soll dabei möglichst präzise und wortgetreu wiedergegeben werden, damit keine relevanten Informationen durch den Transkriptionsprozess verloren gehen. Für die vorliegende Studie sind die Gesprächsinhalte zentral, wohingegen linguistische Gesprächsmerkmale nicht ausgewertet werden, weshalb die Tonhöhe, Betonungen oder der Dialekt nicht festgehalten werden.

Da in der gesprochenen Sprache Sätze oft nicht vollendet oder grammatisch korrekt ausgeführt werden, ist ein detailgetreues Transkript zuweilen schlecht lesbar und aufwendig anzufertigen. Daher wird ein Mittelweg zwischen Situationsnähe, Lesbarkeit des Transkripts und praktikablen Transkriptionsaufwand gewählt, indem das Gesprochene geglättet wird und nur die zu analysierenden Interviewpassagen transkribiert werden (die Begrüßung und die einleitenden Worte zu Beginn werden bspw. in der Regel nicht verschriftlicht). Dazu werden Transkriptionsregeln in Anlehnung an Dresing und Pehl (2015) sowie Kuckartz (2018) formuliert (siehe Anhang). Die aufgestellten Transkriptionsregeln wurden nach der Pilotierung überarbeitet und teilweise konkretisiert bzw. ergänzt. Der Formulierung klarer Regeln für das Setzen von Zeitmarken wurde besondere Aufmerksamkeit gewidmet, da dies Einfluss auf die spätere Vergabe von Kategorien hat. Auf diese Weise kann trotz der Transkription durch mehrere Hilfskräfte ein einheitliches Vorgehen gewährleistet werden.

Die Transkription der Audiodateien wird mithilfe der Software MAXQDA durchgeführt, welche auch für die Codierung der Interviews verwendet wird. Hierbei können Audio- und Textdatei miteinander verknüpft werden. Um die Objektivität des Transkriptionsprozesses sicherzustellen, werden alle fertigen Transkripte von einer zweiten Person mit der zugehörigen Audiodatei abgeglichen und gegebenenfalls Anpassungen vorgenommen.

7.2. Auswertung der Interviews mittels qualitativer Inhaltsanalyse

Die Analyse der Interviews mittels qualitativer Inhaltsanalyse bildet den Ausgangspunkt der Datenauswertung des vorliegenden Forschungsvorhabens zur Charakterisierung des Materialnutzungsverhaltens der teilnehmenden Lehrkräfte. Dabei wird das Ziel verfolgt, die Inhalte der Aussagen der Lehrkräfte nachzuvollziehen, zusammenzufassen und zu systematisieren. Dazu werden zunächst in Abschnitt 7.2.1 verschiedene Verfahren der qualitativen

Inhaltsanalyse beschrieben und daraus begründet das für die vorliegende Untersuchung gewählte Vorgehen hergeleitet.⁵² In Abschnitt 7.2.2 wird das entwickelte Kategoriensystem vorgestellt und daran anschließend in Abschnitt 7.2.3 das Vorgehen bei der Codierung der Interviews erläutert.

7.2.1. Vorstellung und Begründung des gewählten Auswerteverfahrens

Der Grundgedanke der qualitativen Inhaltsanalyse ist, ein Textverständnis zu generieren, indem in zyklischen Durchgängen das Datenmaterial theorie- und datengeleitet verarbeitet, systematisiert und Kategorien zugeordnet wird. Auf dieser Basis können neben deskriptiven Befunden auch mögliche Erklärungsansätze für Entscheidungen oder Verhaltensweisen geliefert werden (Kuckartz, 2018). Aus diesem Grund eignet sich die qualitative Inhaltsanalyse gut als Auswertemethode für Interviews (Krüger & Riemeier, 2014).

Der entscheidende Schritt der Auswertung der vorliegenden Forschungsarbeit besteht in der Entwicklung eines Kategoriensystems, welches die zentralen Aussagen der teilnehmenden Lehrkräfte zur Unterrichtsplanung, zur Nutzung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen und zum Unterrichten von Quantenphysik erfasst (vgl. Kuckartz, 2018). Auf dessen Basis können weiterhin Zusammenhänge zwischen den Kategorien sowie zwischen Kategorien und Personen- bzw. Materialmerkmalen betrachtet werden (Schreier, 2014). Dabei wird angenommen, dass empirischen Indikatoren wie Verhaltensweisen, die im Text manifest enthalten sind, latente Kategorien zugrunde liegen (Döring & Bortz, 2016).

Im Folgenden wird zunächst die Auswertemethode *Qualitative Inhaltsanalyse* näher beschrieben. Die qualitative Inhaltsanalyse stellt kein einheitliches Verfahren zur Textanalyse dar, sondern ist vielmehr ein Sammelbegriff für zahlreiche verschiedene Varianten (Schreier, 2014; Döring & Bortz, 2016; Kuckartz, 2018; Mayring, 2019; Göhner & Krell, 2020).⁵³ Nach Mayring (2019) gibt es acht verschiedene Techniken, wohingegen Kuckartz (2018)

⁵²Der qualitativen Forschung fehlen sowohl eine systematische Unterteilung der verschiedenen Auswerteverfahren als auch einheitliche Standards für die Auswertung (vgl. Schreier, 2014; Göhner & Krell, 2020). Daher erscheint es aktuell für die Auswertung einer qualitativen Studie zielführend, anhand der jeweiligen Forschungsfrage ein geeignetes Vorgehen aus den verschiedenen Verfahren eigens zusammenzustellen, auch wenn dies auf dem ersten Blick der Logik einer systematischen und regelgeleiteten Auswertung zu widersprechen scheint. Durch die begründete Auswahl und Festlegung von Regeln im Vorfeld der Datenauswertung kann jedoch der Forderung einer systematischen und regelgeleiteten Auswertung nachgekommen werden.

⁵³Es sollte daher eigentlich korrekterweise von qualitativen Inhaltsanalysen im Plural anstatt von „der“ qualitativen Inhaltsanalyse gesprochen werden. Allerdings hat sich die Pluralformulierung in der Methodenliteratur nicht durchgesetzt, weshalb auch in der vorliegenden Arbeit darauf verzichtet wird.

zwischen drei Hauptformen unterscheidet und Schreier (2014) im Gegensatz dazu lediglich zwei Versionen identifiziert und denen die anderen Versionen als Varianten oder zusätzliche Teilschritte zuordnet.⁵⁴ Vor diesem Hintergrund spricht Schreier (2014, 1) vom „Dickicht der Begrifflichkeiten“ und konstatiert, dass unklar sei, wie sich die verschiedenen Varianten zueinander verhalten. Außerdem handele es sich keinesfalls um eine erschöpfende, sondern vielmehr um eine willkürliche Auflistung (Schreier, 2014).

All diese verschiedenen Varianten haben jedoch die folgenden Gemeinsamkeiten: (a) Kategorienorientierung, (b) systematisches und regelgeleitetes Vorgehen, (c) Klassifizierung des gesamten Datenmaterials, (d) Einbeziehung latenter Bedeutungen, (e) Entwicklung eines Teils der Kategorien am Material und (f) Orientierung an Gütekriterien (Schreier, 2014; Kuckartz, 2018). Eine grobe Unterteilung der verschiedenen Ansätze kann stattdessen anhand ihrer qualitativen Ausprägung getroffen werden. Der Ansatz nach Mayring (2010) stellt ein hybrides Vorgehen zwischen qualitativer und quantitativer Textanalyse dar, welches sich primär auf manifeste Inhalte fokussiert.⁵⁵ Der Ansatz nach Kuckartz (2019) orientiert sich hingegen an Kracauers (1952) Forderung, neben manifesten Inhalten vermehrt latente Inhalte in die Analyse einzubeziehen. Dazu schlägt Kuckartz (2019) neben einer kategorienorientierten Ergebnisvorstellung auch eine fallorientierte Vorstellung vor, sodass es nicht zu einer Zerlegung von Einzelteilen kommt, sondern eine holistische Betrachtung der Fälle stattfindet. Darüber hinaus plädiert er für eine Verbindung der qualitativen Inhaltsanalyse mit der Typenbildung, um Fallvergleiche herstellen und interindividuelle Muster ableiten zu können. Dem schließen sich Schreier et al. (2019) an. Diese unterschiedlichen Ausprägungen beeinflussen insbesondere die Kategorienbildung.

Der größte Kritikpunkt an der qualitativen Inhaltsanalyse besteht darin, dass es sich um kein einheitliches Verfahren handelt. Dadurch besteht zum einen die Schwierigkeit darin, die Systematik und Regelgeleitetheit des Verfahrens zu gewährleisten. Kuckartz (2019) kritisiert in diesem Zusammenhang das sogenannte „Namedropping“, wenn in Forschungsarbeiten die qualitative Inhaltsanalyse ohne weitere Erläuterungen des Vorgehens als Auswertemethode angegeben wird (vgl. Göhner & Krell, 2020).⁵⁶ Dieser Umstand

⁵⁴Es herrscht offenkundig kein Konsens zwischen den verschiedenen Vertreter*innen der qualitativen Inhaltsanalyse. Bspw. kritisiert Mayring (2019) die von Schreier (2014) vorgenommene Einteilung scharf und spricht von „vielen Missverständnissen“ (Mayring, 2019, 6).

⁵⁵Diese Einschätzung von Schreier et al. (2019) wird aus der Perspektive der qualitativen Forschung getroffen – im Vergleich zu statistischen Auswerteverfahren psychometrischer Tests mittels klassischer Testtheorie oder Rasch-Analyse kann Mayrings Ansatz strenggenommen nicht als quantitativ bezeichnet werden.

⁵⁶Es ist jedoch bezeichnend, dass selbst in Methodenhandbüchern teilweise wenig differenzierte Beiträge zur qualitativen Inhaltsanalyse zu finden sind. Ein Beispiel hierzu

ist in Artikeln oder Buchbeiträgen jedoch oftmals begrenzten Platzvorgaben geschuldet, welche eine ausführliche Vorstellung des Auswertevorgehens von vorneherein verhindern. In der vorliegenden Arbeit wird daher besonderer Wert auf die transparente Darstellung des Ablaufs der Auswertung und der Begründung getroffener Entscheidungen gelegt (vgl. Kuckartz, 2019).

Zum anderen folgt aus der Fülle der verschiedenen Varianten eine große Spannbreite an teilweise widersprüchlichen Kritikpunkten, da sich die Kritik nicht gegen die qualitative Inhaltsanalyse allgemein, sondern explizit gegen einzelne Varianten dieser richtet. An dem Verfahren nach Mayring (2010) wird bspw. kritisiert, dass es sich um eine reine Übersetzung von Textinhalten in Zahlenwerte mit anschließender Häufigkeitsanalyse handelt, was kein ganzheitliches Textverständnis ermöglicht (Kuckartz, 2019). Durch die primär theoriegeleitete Kategorienbildung fehlt zudem laut Schreier et al. (2019) die Offenheit für neuartige Erkenntnisse. Mayring (2019) hingegen äußert sich wie folgt über den Ansatz von Kuckartz: „Die Konzeption qualitativer Inhaltsanalyse von Udo KUCKARTZ (2012, 2014) geht in eine Richtung, die die Stärken der Methodik meiner Meinung nach wenig nutzt“ (Mayring, 2019, 6). Mayring (2019) zufolge benötigt das hermeneutisch-interpretative Vorgehen bei Kuckartz so viele Ressourcen, dass es nur auf kleine Textmengen angewendet werden kann und somit nur kleine Stichprobenumfänge realisiert werden können. Auch Döring und Bortz (2016) sehen den großen Umfang des Datenmaterials und die daraus notwendigerweise entstehende Differenzierung zwischen relevanten und irrelevanten Informationen kritisch. Insgesamt wird allerdings der Ansatz von Mayring (2010) wesentlich stärker diskutiert als dessen Modifikationen (Schreier et al., 2019).

Diese kontroverse Debatte ist insofern unverständlich, als aus den verschiedenen Argumentationen deutlich wird, dass sehr unterschiedliche Zielsetzungen verfolgt werden, weshalb die Existenz verschiedener Vorgehensweisen gerechtfertigt ist. Mayring (2019) zielt auf eine pragmatische, zeiteffiziente Vorgehensweise für wenig komplexe Fragestellungen ab, wofür eine Fokussierung von manifesten Inhalten angemessen ist. Er führt als Beispiel seines Ansatzes eine Interviewbefragung von Studierenden zu ihrer Zufriedenheit mit ihrer Lehrveranstaltung an (Mayring, 2019), wobei deutlich wird, dass ein vermehrt exploratives Vorgehen für diese Art von Forschungsvorhaben

ist der Beitrag *Die qualitative Inhaltsanalyse – eine Methode zur Auswertung von Interviews* (Krüger & Riemeier, 2014) im Band *Methoden in der naturwissenschafts-didaktischen Forschung* (Krüger, Parchmann & Schecker, 2014). Es wäre wünschenswert, dass neben der Erwähnung, dass der Ansatz nach Mayring (2010) verfolgt wird, auch eine Benennung der gewählten Technik nach Mayrings Ansatz und eine (kurze) Abgrenzung zu Ansätzen anderer Autor*innen folgt oder zumindest in den Empfehlungen für vertiefende Literatur realisiert wird. Gleichwohl kann auf der begrenzten Seitenzahl natürlich keine Diskussion der verschiedenen Varianten der qualitativen Inhaltsanalyse erfolgen.

nicht notwendig ist. Kuckartz (2018) hingegen intendiert die Untersuchung vielschichtiger und explorativer Fragestellungen, wofür eine intensivere Auseinandersetzung mit dem Textmaterial erforderlich ist. Er nennt als Beispielprojekt die subjektive Sicht auf die größten Weltprobleme im 21. Jahrhundert in Bezug auf das eigene Verhalten und das von anderen (Kuckartz, 2018). Statt in der Breite zu forschen, wird eine tiefgehende Untersuchung von wenigen Fällen angestrebt, sodass ein geringer Stichprobenumfang keinen Mangel darstellt (vgl. Schreier et al., 2019). Die Konzentration auf die relevanten Aspekte ist vor diesem Hintergrund ebenfalls nicht als problematisch einzustufen.

Nach dieser exemplarischen Übersicht über die verschiedenen Verfahren und Ansätze der qualitativen Inhaltsanalyse (weitere Ansätze sind z.B. Krippendorff, 2004; Steigleder, 2008; Gläser & Laudel, 2010) wird nun beschrieben, welches Prozedere für die vorliegende Arbeit gewählt wird. Es wird der Ansatz nach Kuckartz (2018) verfolgt, da dieser für die Untersuchung explorativer Fragestellungen geeignet ist und sich sehr gut mit dem intendierten Grounded-Theory-Forschungsansatz vereinbaren lässt – tatsächlich greift Kuckartz (2018) sogar explizit Aspekte der *Grounded Theory* auf (vgl. Schreier et al., 2019). Zudem erscheint ein vermehrt hermeneutisch-interpretativer Zugang für das vorliegende Forschungsprojekt sinnvoll, um die Vielschichtigkeit des Nutzungsverhaltens materialgestützter Unterrichtskonzeptionen zu klären, da bislang wenig Erkenntnisse zum Implementationsprozess solcher Materialien vorliegen (vgl. Abschnitt 3.3.6). Das Vorgehen nach Mayring (2010) wirkt hingegen für die vorliegende Untersuchung zu oberflächlich, um die verschiedenen Facetten des Nutzungsverhaltens sowie Entscheidungsprozesse der teilnehmenden Lehrkräfte festzuhalten.

Kuckartz (2018) unterscheidet die folgenden drei Basisformen: (a) die inhaltlich strukturierende qualitative Inhaltsanalyse, (b) die evaluative qualitative Inhaltsanalyse und (c) die typenbildende qualitative Inhaltsanalyse. Diese sind nicht vollständig disjunkt, da die typenbildende qualitative Inhaltsanalyse in der Regel auf einer inhaltlich strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse aufbaut. Für die vorliegende Arbeit werden die beiden Varianten (a) *inhaltlich strukturierende qualitative Inhaltsanalyse* und (b) *evaluative qualitative Inhaltsanalyse* genutzt, welche im Folgenden in ihrer Zielsetzung und in ihrem Ablauf genauer vorgestellt werden. Eine Typenbildung wird basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen in Kapitel 8 vorgenommen.

Die inhaltlich strukturierende qualitative Inhaltsanalyse kann als das Herzstück der qualitativen Inhaltsanalyse bezeichnet werden (Schreier, 2014) und bildet in der vorliegenden Arbeit die zentrale Auswertemethode. Das Textmaterial wird dabei auf die wesentlichen Inhalte reduziert und in einem Kategoriensystem thematisch gegliedert. Auf dieser Basis können gut Be-

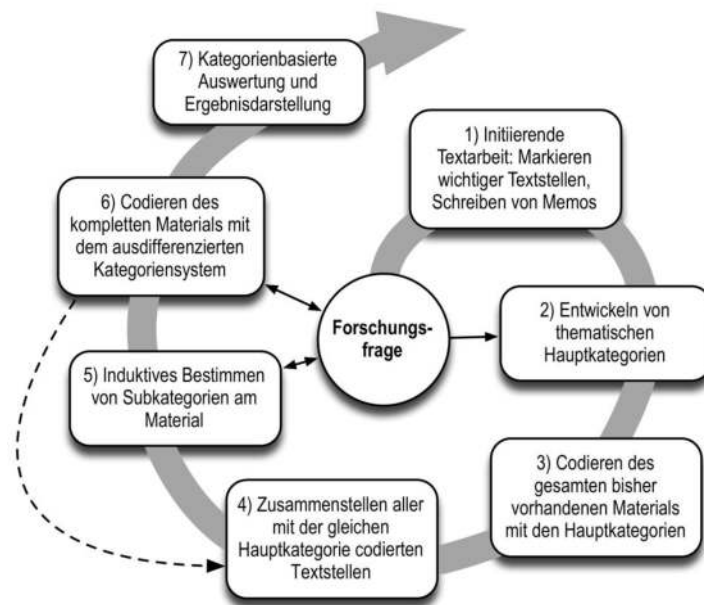


Abbildung 7.2.: Ablauf der inhaltlich strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018).

schreibungen von Personen und ihren Verhaltensweisen durchgeführt werden (Kuckartz, 2018). Die Kernschritte der inhaltlich strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse sind (1) das Sich-Vertraut-Machen mit dem Textmaterial, (2) die Ableitung von Hauptkategorien aus dem Interviewleitfaden, (3) die Bestimmung von Codiereinheiten, (4) das Zusammenstellen aller mit der gleichen Hauptkategorie codierten Textstellen, (5) die Entwicklung von Subkategorien und den dazugehörigen Definitionen und (6) einer anschließenden Erprobung des Kategoriensystems (vgl. Abb. 7.2).

Die evaluative qualitative Inhaltsanalyse umfasst dieselben Schritte (vgl. Abb. 7.3); sie unterscheidet sich lediglich in der Entwicklung und Beschaffenheit der Kategorien, weshalb sich beide Varianten gut kombinieren lassen (Kuckartz, 2018). Die Kategorienbildung der evaluativen qualitativen Inhaltsanalyse erfolgt primär theoretisch fundiert, wobei die Subkategorien, welche bei dieser Variante die Ausprägung eines Merkmals darstellen, am Material entwickelt werden (vgl. Abschnitt 7.2.2). Dieses Vorgehen eignet sich besonders dann, wenn auf Basis des bisherigen Kenntnisstands ein normativer Maßstab vorliegt, um eine Bewertung bspw. von Handlungspraktiken vorzunehmen. Diese evaluativen Kategorien beziehen sich daher ganzheitlich auf einen Fall und sind deswegen noch stärker hermeneutisch-interpretativ ausgerichtet (Kuckartz, 2018).

Zusammenfassend lässt sich festhaltend, dass das gewählte Vorgehen der qualitativen Inhaltsanalyse für die vorliegende Studie zielführend und ge-

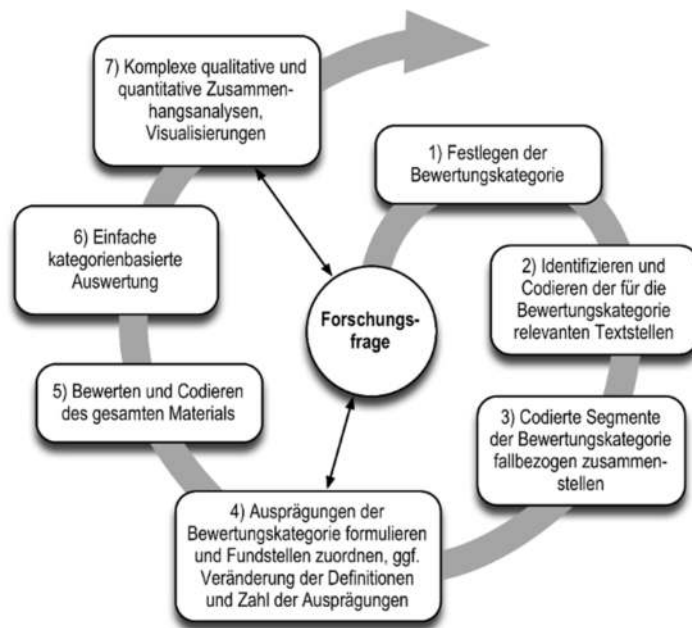


Abbildung 7.3.: Ablauf der evaluativen qualitativen Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018).

genstandsangemessen ist, da den wesentlichen Kritikpunkten durch eine gut nachvollziehbare Dokumentation des Auswerteprozesses sowie einer sowohl kategorien- wie auch fallorientierter Auswertung vorgebeugt wird. Die Einschränkung eines geringen Stichprobenumfangs bleibt bestehen, wobei nichtsdestotrotz verallgemeinerbare Schlüsse gezogen werden können (vgl. Abschnitt 7.3.2).

Die qualitative Inhaltsanalyse stellt jedoch nur ein mögliches Auswertungsverfahren zur Textanalyse dar, weshalb sie im Folgenden zumindest grob von anderen Verfahren abgegrenzt werden soll, um die getroffene Auswahl zu rechtfertigen. Zunächst sei die *Grounded Theory* genannt, welche neben dem Ansatz als Forschungsstil auch als Auswertemethode verwendet werden kann. Das Vorgehen nach der *Grounded Theory* ist hauptsächlich induktiv (Döring & Bortz, 2016). Da in dem betrachteten Forschungsfeld jedoch bereits Konstrukte und Faktoren identifiziert werden konnten, welche das Materialnutzungsverhalten von Lehrkräften beeinflussen, erscheint eine Kombination aus einem deduktiven und induktiven Vorgehen, wie es in der qualitativen Inhaltsanalyse möglich ist, angemessener.

Ein weiteres Auswertungsverfahren zur Textanalyse stellt die Objektive Hermeneutik dar (Oevermann, Allert, Konau & Krambeck, 1975). Diese bildet den Ursprung der qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018) (vgl. Schreier et al., 2019). Der Schwerpunkt der Objektiven Hermeneutik liegt auf der Identifikation verschiedener Bedeutungen eines Textes; die Erschlie-

ßung des subjektiv gemeinten Sinns steht nicht im Vordergrund. Stattdessen geht es vielmehr um eine Rekonstruktion objektiver Strukturen als um das inhaltlich Gesagte, was sich bspw. für die Interaktion von Personen anbietet (Döring & Bortz, 2016). Das Forschungsdesign der vorliegenden Studie und die entwickelten Interviewleitfäden zielen jedoch auf eine Erfassung der Selbstauskünfte der befragten Lehrkräfte, weshalb sich dieses Auswerteverfahren für das gewählte Studiendesign nicht eignet.

Darüber hinaus zu nennen ist die Dokumentarische Methode nach Bohnsack (2007), bei der das Gesagte verfremdet wird, indem es in einem ersten Auswerteschritt paraphrasiert und dann auf dieser Basis weiter ausgewertet wird. Dabei steht vermehrt im Mittelpunkt, wie etwas gesagt wird und welche immanenten Sinngehalte dem Gesagten zugrunde liegen. Die Inhalte werden als nicht so zentral angesehen wie bei der qualitativen Inhaltsanalyse. Auf diese Weise ist es möglich, über die Inhalte des Gesagten hinaus Beweggründe für das Verhalten von Individuen zu rekonstruieren. In der vorliegenden Untersuchung soll jedoch der subjektive gemeinte Sinn der Aussagen der befragten Lehrkräfte nachvollzogen und systematisiert werden, um ihr Nutzungsverhalten zu rekonstruieren. Dadurch sind die resultierenden Schlussfolgerungen an die Selbstauskünfte und Selbsteinschätzungen der teilnehmenden Lehrkräfte gebunden, was zwar eine Limitation der vorliegenden Studie darstellt (vgl. Abschnitt 7.3.2), aber für eine explorative Untersuchung des Implementationsprozesses zielführend erscheint.

Mayring (2019) listet noch viele weitere alternative Auswerteverfahren insbesondere aus dem anglo-amerikanischen Raum auf, die von der qualitativen Inhaltsanalyse abgegrenzt werden können. Diese sind allerdings stärker im Bereich der Sozialforschung anzusiedeln, weshalb an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen wird.

7.2.2. Vorstellung des Kategoriensystems

Mithilfe der Auswertemethoden der inhaltlich strukturierenden und der evaluativen qualitativen Inhaltsanalyse wird ein Kategoriensystem entwickelt, um das Nutzungsverhalten materialgestützter Unterrichtskonzeptionen durch die befragten Lehrkräfte systematisch zu beschreiben. Auf diese Weise wird das Ziel verfolgt, das Nutzungsverhalten einzelner Personen zum einen möglichst detailliert und zum anderen fallübergreifend vergleichbar abzubilden.

In der Regel bildet ein kompletter Fall die *Analyseeinheit*, da das Nutzungsverhalten als personenspezifisch angenommen wird und nicht die Erwartung besteht, dass sich dieses während des Erhebungszeitraums über wenige Wochen ändert (vgl. Kuckartz, 2018). Es werden lediglich einige ausgewählte Kategorien auch innerhalb eines Falls kontrastiert (bspw. der im

Einstiegsinterview geplante Einsatz und der tatsächliche Einsatz von MILQ). In diesem Fall stellt ein Interview die Analyseeinheit dar.

Die *Codiereinheit* gibt darüber hinaus an, welcher Bereich codiert wird. Es besteht die Möglichkeit einer formalen Einteilung (z.B. Halbsätze, Sätze, Absätze oder Interview) oder einer inhaltlichen Einteilung (Sinnabschnitte) (Kuckartz, 2018). Bei einer inhaltlichen Auswertung des Datenmaterials empfiehlt sich eine inhaltliche Festlegung der Codiereinheit. Die Realisierung ist jedoch zeit- und ressourcenaufwendig, da vor der eigentlichen Codierung eine Einteilung in Sinnabschnitte erfolgt, welche strenggenommen von einer zweiten Person überprüft werden muss (Kuckartz, 2018).

In der vorliegenden Arbeit wird zwischen der Codiereinheit der inhaltlich strukturierenden Kategorien und der evaluativen Kategorien differenziert. Erstere wird aus ökonomischen Gründen formal als ein Absatz im Transkript definiert, wenngleich eine inhaltliche Festlegung aufgrund der angestrebten inhaltlichen Auswertung zu präferieren wäre. Um diesen Nachteil zu schmälern, wird bereits bei der Transkription der Interviews die Einteilung der Absätze auf der Basis von Sinnabschnitten vorgenommen – in der Regel handelt es sich hierbei um die Antwort auf eine Frage (vgl. mit den Transkriptionsregeln im Anhang). Aufgrund der daraus resultierenden Bedeutsamkeit der Einteilung des Transkripts in Absätze für die nachfolgende Auswertung wird diese im Transkriptionsprozess von einer zweiten Person überprüft. Bei den evaluativen Kategorien handelt es sich hingegen um globale Einschätzungen von Personenmerkmalen der teilnehmenden Lehrkräfte, weshalb ein gesamter Fall die Codiereinheit darstellt.

Es wird ein hierarchisch aufgebautes Kategoriensystem in Anlehnung an Kuckartz (2018) deduktiv-induktiv entwickelt. Die Hauptkategorien werden primär theoriegeleitet ausgehend vom Interviewleitfaden des Einstiegsinterviews entwickelt (auch als A-priori-Kategorienbildung bezeichnet).⁵⁷ Somit ergeben sich die folgenden fünf Hauptkategorien: 1) *Vorstellungen zum Lehren und Lernen*, 2) *Unterrichtsplanung*, 3) *Materialnutzung allgemein*, 4) *Aussagen zum bereitgestellten Unterrichtskonzept MILQ* und 5) *Aussagen zur Quantenphysik* (vgl. Abschnitt 5.3.1). Ausgehend von den Stimulated-Recall-Interviews und dem Abschlussinterview wird darüber hinaus eine weitere Hauptkategorie deduktiv-induktiv entwickelt: 6) *Reflexion*. Die gebildeten Hauptkategorien werden in drei bis vier Hierarchieebenen ausdifferenziert. Einen Überblick liefert Tabelle 7.1, eine ausführliche Vorstellung erfolgt im weiteren Verlauf.

⁵⁷„Wenn bei der Datenerhebung strukturierende Mittel, bspw. ein Interviewleitfaden bei offenen Interviews, eingesetzt werden, wird häufig so vorgegangen, dass für die erste Phase der qualitativen Inhaltsanalyse Kategorien direkt aus dem Interviewleitfaden abgeleitet werden, d.h. mit deduktiven Kategorien begonnen wird“ (Kuckartz, 2018, 72).

<p>1. Vorstellungen zum Lehren und Lernen</p> <p>1.1 Schüleraktivierend</p> <p>1.2 Lehrer gelenkt</p> <p>1.3 Berücksichtigung des Vorwissens</p> <p>1.4 Fachorientiert</p> <p>1.5 Motivierend</p> <p>1.6 Experiment handlungsleitend</p>	<p>2. Unterrichtsplanung</p> <p>2.1 Vorgehen bei der Unterrichtsplanung</p> <p>2.2 Planungskriterien/Rahmenbedingungen</p>
<p>3. Materialnutzung</p> <p>3.1 Vorstellungen zur Materialnutzung</p> <p>3.2 Inhaltliche Materialnutzungs-kriterien</p> <p>3.3 Formale und pragmatische Materialnutzungs-kriterien</p> <p>3.4 Genutzte Materialien</p> <p>3.5 Gründe für das Selbststudium</p>	<p>4. Aussagen zu MILQ</p> <p>4.1 Bekanntheit</p> <p>4.2 Zugriff auf MILQ</p> <p>4.3 Meinung zum Konzept</p> <p>4.4 Nicht genutzte Elemente</p> <p>4.5 Grad der Umsetzung von MILQ</p>
<p>5. Aussagen zur Quantenphysik</p> <p>5.1 Selbstwirksamkeitserwartungen beim Unterrichten von QP</p> <p>5.2 Persönliches Interesse an QP</p> <p>5.3 Ziele der Unterrichtsreihe</p> <p>5.4 Behandlung quantenmechanischer Phänomene</p> <p>5.5 Stellenwert der Mathematik im Quantenphysik-Unterricht</p> <p>5.6 Schwierigkeiten beim Unterrichten von QP</p>	<p>6. Reflexion</p> <p>6.1 Reflexionsschwerpunkt</p> <p>6.2 Persönliches Fazit</p>

Tabelle 7.1.: Überblick über die ersten beiden Hierarchieebenen des Kategoriensystems.

Einige (Sub-)Kategorien werden ebenfalls deduktiv entwickelt, wenn es sich um heuristisch vermutete oder empirisch bestätigte Einflussfaktoren der professionellen Handlungspraxis von Lehrkräften oder des Nutzungsverhaltens materialgestützter Unterrichtskonzeptionen handelt. Die meisten (Sub-)Kategorien werden jedoch deduktiv-induktiv konstruiert, also mit einem größeren Einfluss des Datenmaterials. Dieses Vorgehen wird auf empirisch bestätigte Einflussgrößen auf das Handeln von Lehrkräften angewendet, für die bislang ungeklärt ist, inwieweit sie auch die Materialnutzung bedingen. Einige (Sub-)Kategorien werden darüber hinaus ausschließlich induktiv mit-

tels Subsumtion entwickelt (Schreier, 2014; Kuckartz, 2018).⁵⁸ Das bedeutet, dass das Textmaterial in Hinblick auf bislang im Kategoriensystem nicht enthaltene Gesichtspunkte gesichtet wird. Für jeden neuen Aspekt wird eine neue Kategorie angelegt, wohingegen Aspekte, welche sich zu einer bereits bestehenden Kategorie zuordnen lassen, darunter subsumiert werden.

Dazu werden zusammenfassende Fallbeschreibungen erstellt, in denen prägnante Informationen und Zitate festgehalten werden (Kuckartz, 2018), aus denen erste Kategorien gewonnen werden können. Dieses Vorgehen kann als Standardverfahren der inhaltlich-strukturierenden Inhaltsanalyse bezeichnet werden (Schreier, 2014). Es eignet sich für weniger erforschte Bereiche der Materialnutzung (bspw. die Einschätzung und Nutzung von MILQ).

Erst im Anschluss an die Entwicklung der (Sub-)Kategorien wird ein Abgleich mit dem derzeitigen Forschungsstand vorgenommen, um die Plausibilität, die Bedeutsamkeit und den Neuheitswert der entwickelten (Sub-)Kategorien zu überprüfen (vgl. Abschnitt 7.3.2).

Die Betitelung der (Sub-)Kategorien wird an Äußerungen der befragten Lehrkräfte orientiert und lediglich zur besseren Zusammenfassung leicht abstrahiert (Kuckartz, 2018), wie etwa *Für die Schüler*innen angemessene Anforderungen* oder *Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen bzw. Stil*. Parallel mit der Konstruktion der Subkategorien werden darüber hinaus Definitionen dieser formuliert (Kuckartz, 2018), indem eine inhaltliche Beschreibung, Ankerbeispiele und optionale Abgrenzungen zu anderen Subkategorien festgehalten werden.

Für die Fertigstellung des Kategoriensystems muss abschließend beachtet werden, dass die (Sub-)Kategorien trennscharf sind (Kuckartz, 2018).⁵⁹ Ist dies nicht der Fall, werden entweder Kategorien zusammengefasst oder einzelne Kategorien ausgeschärft bzw. weiter ausdifferenziert. Weiterhin sollte die Zuteilung der Kategorien intersubjektiv reproduzierbar und zeitlich stabil sein (Schreier, 2012; Kuckartz, 2018) – was mittels Interraten und Intraraten überprüft wird (vgl. Abschnitt 7.3.2). Darüber hinaus wird reflektiert, inwieweit die einzelnen Kategorien zum Forschungsgegenstand passen (Gegenstandsangemessenheit) und das Kategoriensystem erschöpfend ausgearbeitet ist (Erfassung aller relevanten Informationen für den Untersu-

⁵⁸Andere Ansätze zur induktiven Kategorienbildung stellen bspw. die Paraphrasierung und die Zusammenfassung nach Mayring (2010) und der Ansatz der *Grounded Theory* zur Kategorienbildung am Material (Schreier, 2014; Kuckartz, 2018) dar. Einen Überblick über die verschiedenen Ansätze gibt Schreier (2014), eine ausführlichere Diskussion ist bei Kuckartz (2018) nachzulesen.

⁵⁹Teilweise wird zusätzlich gefordert, dass die Kategorien dichotom sind, sich also gegenseitig ausschließen, worüber allerdings unter den Vertreter*innen der qualitativen Inhaltsanalyse kein Konsens besteht (vgl. Kuckartz, 2018). In der vorliegenden Untersuchung werden Mehrfachcodierungen zugelassen, um eine Betrachtung von Textpassagen aus verschiedenen Blickwinkeln (z.B. Unterrichtsplanung, Materialnutzung und Reflexion) zu ermöglichen.

chungsgegenstand). Die Überarbeitungen der (Sub-)Kategorien lassen sich drei Zeitpunkten im Forschungsprozess zuordnen: (a) nach der Auswertung der Pilotierung (v.a. durch die bessere Einschätzung, wie die Codierungen später ausgewertet und wie differenziert Kategoriezuweisungen benötigt werden), (b) während der Haupterhebung (wenn sich abzeichnete, dass weitere induktive Ergänzungen aufgrund weiterer Fälle notwendig sind) und (c) im Zuge des Interratens (v.a. in Bezug auf Trennschärfe und Abgrenzung).

Das finale Kategoriensystem lässt sich in verschiedene Arten von Kategorien unterteilen. Kuckartz (2018) differenziert zwischen *Faktenkategorien* (wie z.B. Ort oder Berufsausbildung), *thematischen Kategorien* (wie z.B. inhaltliche Auswahlkriterien und formale Auswahlkriterien), *evaluativen Kategorien* (wie z.B. einem hohen oder niedrigen Interesse), *analytische Kategorien* (wie z.B. intendierte Ziele oder Beweggründe) und *formale Kategorien* (wie z.B. Datum oder Interviewlänge).⁶⁰ Die in der vorliegenden Untersuchung gebildeten Kategorien lassen sich dabei thematischen Kategorien, evaluativen Kategorien und analytischen Kategorien zuordnen. Es werden ebenfalls formale Informationen wie Länge und Ort der Interviews festgehalten – allerdings nicht in Form von Kategorien, sondern in den Fallbeschreibungen.

Eine ausführliche Beschreibung der Subkategorien und eine Vorstellung des Entwicklungsprozesses erfolgt im Anschluss. Das Codiermanual mit Hinweisen zur Codierung und zur Abgrenzung verschiedener Subkategorien sowie Ankerbeispielen und bei Bedarf auch Abgrenzungsbeispielen wird auf Anfrage gerne zur Verfügung gestellt.

Hauptkategorie	Anzahl der Subkategorien
1) Vorstellungen zum Lehren und Lernen	6
2) Unterrichtsplanung	13
3) Materialnutzung allgemein	45
4) Aussagen zu MILQ	53
5) Aussagen zur Quantenphysik	36
6) Reflexion	4

Tabelle 7.2.: Verteilung der Subkategorien auf die Hauptkategorien.

Insgesamt besteht das Kategoriensystem aus 157 Subkategorien (gezählt wurde die jeweils unterste Hierarchieebene, Ausprägungen nicht mit eingeschlossen). Damit ist das Kategoriensystem verhältnismäßig umfangreich (Kuckartz (2018) empfiehlt bis zu zehn Hauptkategorien mit ca. zehn Subkategorien pro Hauptkategorie), wodurch die Aussagen der befragten Lehr-

⁶⁰Es sei angemerkt, dass der Terminus *Kategorie* dabei von den Begriffen *Konzept* und *Variable* abgegrenzt werden muss. Erster hat ein breiteres Bedeutungsspektrum und kann daher Konzepte oder Variablen umfassen.

kräfte zu ihrem Nutzungsverhalten differenziert erfasst werden können, was wiederum eine tiefgehende Analyse ermöglicht. Die Verteilung der Subkategorien auf die Hauptkategorien gestaltet sich wie in Tabelle 7.2 dargestellt. Dabei spiegelt die quantitative Gewichtung des Kategoriensystems im Bereich Materialnutzung, MILQ und Quantenphysik den Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Studie wider.

7.2.2.1. Vorstellungen zum Lehren und Lernen

Die erste Hauptkategorie bildet das Konstrukt *Vorstellungen zum Lehren und Lernen* ab, dessen Einfluss auf die professionelle Handlungspraxis von Lehrkräften und die Qualität schulischen Unterrichts bereits in zahlreichen Untersuchungen belegt wurde (vgl. Kapitel 2 und Abschnitt 3.3.3).⁶¹ Zusammenfassend können in der Literatur in Bezug auf die Relevanz für die Materialnutzung die Dimensionen *schülerorientiert* und *fachorientiert* identifiziert werden (Merzyn, 1994; Vollstädt et al., 1999; Fischler, 2000b; Tänzer, 2011). Eine schülerorientierte Haltung zeichnet sich demnach durch eine entwicklungsorientiert pädagogische Orientierung sowie die Berücksichtigung der Bedürfnisse und Interessen der Schüler*innen aus (Vollstädt et al., 1999). Bei einer fachorientierte Haltung steht hingegen die Vermittlung fachlicher Inhalte im Fokus; der Unterricht wird fachsystematisch aufgebaut (Vollstädt et al., 1999). Diese Dimensionen schließen sich nach Vollstädt et al. (1999) nicht gegenseitig aus.

Eine Charakterisierung der befragten Lehrkräfte in Bezug auf diese beiden Haltungen im Sinne einer evaluativen Zuordnung erscheint für die weitere Analyse sinnvoll. Da allerdings eine abschließende Einschätzung aufgrund der Komplexität der Vorstellungen zum Lehren und Lernen nur anhand von unterschiedlichen Subkategorien möglich ist (vgl. Vollstädt et al., 1999), erwies sich eine angemessene Anwendung des Konstrukts auf das vorliegende Datenmaterial als schwierig. Daher werden die Subkategorien gemäß der evaluativen qualitativen Inhaltsanalyse deduktiv-induktiv gebildet und evaluativ ausdifferenziert, da sie über eine reine Beschreibung hinausgehen und stattdessen eine Beurteilung beinhalten (Kuckartz, 2018). Die Ausprägung wird in die Stufen (a) *Eher ja*, (b) *Eher nein* und (c) *Nicht entscheidbar* ausdifferenziert.

⁶¹Die Vorstellungen zum Lehren und Lernen stellen nur einen Teil der Überzeugungen von Lehrkräften dar (Baumert & Kunter, 2006). Eine allgemeine Betrachtung der Überzeugungen ist jedoch für die vorliegende Untersuchung nicht sinnvoll umzusetzen, da ein zusätzliches Erhebungsinstrument bspw. in Form eines Fragebogens zu epistemologischen Überzeugungen aus erhebungstechnischen Gründen als nicht zielführend erachtet wird. Eine Konzentration auf die Vorstellungen zum Lehren und Lernen (im Physikunterricht) erscheint stattdessen für das explorative Vorgehen plausibel und aus ökonomischen Gründen angemessen.

Da es sich um eine globale Einschätzung einer Person handelt, werden die Subkategorien für einen Fall vergeben. Eine hohe bzw. niedrige Ausprägung bedeutet nicht, dass in dem jeweiligen Fall keine gegenteiligen Aussagen enthalten sind, stattdessen wird eine begründete Gewichtung vorgenommen. Aus diesem Grund sind die gebildeten Subkategorien hochinferent. Es ergeben sich die folgenden Subkategorien.

1.1 *Schüleraktivierend* (orientiert an Merzyn, 1994; Vollstädt et al., 1999; Fischler, 2000b; Roehrig, Kruse & Kern, 2007)

Ausprägung	Definition
a) Eher ja	Die Lehrkraft baut im Unterricht schüleraktivierende Phasen ein, in denen die Schüler*innen eigentätig und selbstständig arbeiten, bspw. durch Schülerexperimente oder Arbeitsblätter. Darunter fallen ebenfalls kognitiv aktivierende Tätigkeiten, wie die Schüler*innen aufzufordern, Fragen zu stellen. <i>Hinweis: Die Tätigkeiten müssen nicht zwangsläufig kognitiv aktivierend sein.</i>
b) Eher nein	Die Lehrperson gibt an, bspw. aufgrund von externen Rahmenbedingungen (begrenzte Zeit, mangelnde Effektivität etc.) auf Schülerarbeitsphasen weitestgehend zu verzichten.
c) Nicht entscheidbar	Es kann keine eindeutige Einschätzung abgegeben werden.

1.2 *Lehrergelenkt* (orientiert an Tesch & Duit, 2004; Roehrig, Kruse & Kern, 2007)

Ausprägung	Definition
a) Eher ja	Der Unterricht wird von der Lehrperson vermehrt angeleitet und häufig frontal gehalten.
b) Eher nein	Die Lehrkraft stellt Aufgabenstellungen oder Material zur Verfügung, hält sich im Unterrichtsgeschehen aber eher zurück und greift nur bei Problemen ein oder ist Ansprechpartner für Fragen.
c) Nicht entscheidbar	Es kann keine eindeutige Einschätzung abgegeben werden.

1.3 *Berücksichtigung des Vorwissens* (orientiert an Merzyn, 1994; Vollstädt et al., 1999)

Ausprägung	Definition
a) Eher ja	Es werden die Vorkenntnisse der Schüler*innen im Unterricht oder während der Planung berücksichtigt und bei Bedarf bestimmte Inhalte wiederholt. Teilweise werden dazu kurzfristig Änderungen an der ursprünglichen Unterrichtsplanung vorgenommen. <i>Hinweis: Aus den Äußerungen der Lehrperson muss ersichtlich sein, dass sie Konsequenzen aus den Vorwissensbeobachtungen für den Unterricht zieht. Eine alleinige Einschätzung des Vorwissensstandes ist zur Codierung nicht ausreichend.</i>
b) Eher nein	Das Vorwissen der Schüler*innen wird nur wenig berücksichtigt.

c) Nicht entscheidbar	Es kann keine eindeutige Einschätzung abgegeben werden.
-----------------------	---

Der Begriff *Vorwissen* wird bewusst breit interpretiert und nicht ausschließlich für die Berücksichtigung von Schülervorstellungen verwendet, da sich in den Interviews nur wenige Äußerungen zu Schülervorstellungen finden. Die Berücksichtigung des Vorwissens meint daher lediglich, die Schüler*innen dort abzuholen, wo sie stehen. Die Subkategorie bezieht sich auch auf das Anknüpfen an aktuelle Wissensbestände und Alltagserfahrungen der Schüler*innen. Diese Subkategorie wurde zunächst in zwei Subkategorien jeweils für die Unterrichtsplanung und für die Durchführung im Unterricht unterschieden, da diese jedoch nicht trennscharf waren, sind sie zusammengefasst worden.

1.4 *Fachsystematisch* (orientiert an Merzyn, 1994; Vollstädt et al., 1999; Fischler, 2000b)

Ausprägung	Definition
a) Eher ja	Die Lehrperson plant ihren Unterricht anhand der fachsystematischen Reihenfolge der Themen.
b) Eher nein	Die Lehrperson plant ihren Unterricht kaum anhand der fachsystematischen Reihenfolge der Themen.
c) Nicht entscheidbar	Es kann keine eindeutige Einschätzung abgegeben werden.

1.5 *Motivierend* (orientiert an Vollstädt et al., 1999)

Ausprägung	Definition
a) Eher ja	Es wird darauf Wert gelegt, Schülerinteressen zu berücksichtigen sowie die Motivation der Schüler*innen zu erhöhen.
b) Eher nein	Die Lehrperson vermittelt durch ihre Aussagen den Eindruck, dass sie im Rahmen ihrer Möglichkeiten Schülerinteressen nicht weiter berücksichtigen kann oder nicht viel Wert darauf legt. <i>Hinweis: Diese Einschätzung kann auch ohne konkrete Aussagen zu diesem Aspekt, aber aufgrund von ausbleibenden Äußerungen an erwartbaren Stellen vorgenommen werden (bspw. wenn eine Lehrperson über die mangelnde Motivation der Schüler*innen klagt, aber keinerlei motivationsfördernde Maßnahmen benennt).</i>
c) Nicht entscheidbar	Es kann keine eindeutige Einschätzung abgegeben werden.

1.6 *Experiment handlungsleitend* (orientiert an Fischler, 2000b; Tesch & Duit, 2004; Wiesner, Schecker & Hopf, 2011)

Ausprägung	Definition
a) Eher ja	Die Lehrperson plant ihre Unterrichtsstunden und -reihen vom Experiment ausgehend. Folglich werden weitere Handlungsentscheidungen basierend auf der Durchführung und Auswertung des Experiments getroffen. Das Experiment bzw. die Aneinanderreihung von Experimenten stehen im Zentrum des Unterrichtsgeschehens.
b) Eher nein	Die Lehrperson plant ihren Unterricht nicht ausgehend von den betrachteten Experimenten, sondern wählt vielmehr Experimente gezielt aus, um ihre Handlungsziele und -absichten umzusetzen. Demnach steht nicht das Experiment per se im Mittelpunkt des Unterrichtsgeschehens, sondern die Lernlogik und Zielerreichung.
c) Nicht entscheidbar	Es kann keine eindeutige Einschätzung abgegeben werden.

Diese Subkategorie wurde mehrfach überarbeitet. Sie bestand ursprünglich aus den Subkategorien *Phänomenorientierter Unterricht*, *Bevorzugung von Realexperimenten*, *Kosten-Nutzen-Analyse*, *Lieber Schüler- als Lehrerversuche* und *Viele Demonstrationsexperimente*. Da die letzten beiden jedoch durch die Subkategorien *1.1 Schüleraktivierend* bzw. *1.2 Lehrgelenkt* bereits abgedeckt sind, wurden sie gestrichen. Stattdessen sollte die Intentionen der Lehrkräfte betreffend der Einbettung von Experimente genauer charakterisiert werden (in Orientierung an Tesch & Duit, 2004), indem die beiden zusätzlichen Subkategorien *Einbettung in die lokale Sachstruktur* und *Einbettung in die globale Sachstruktur* gebildet wurden.

Es zeigte sich jedoch beim Interraten, dass die Unterscheidung dieser Subkategorien nur geringe Übereinstimmung zwischen den Beurteiler*innen aufwies (vgl. Abschnitt 7.3.2). In Hinblick auf die Forschungsfrage wurde daher die Entscheidung getroffen, dass eine Differenzierung dieser Subkategorien für die weitere Interpretation der Daten nicht entscheidend ist, sondern vielmehr die allgemeine Einschätzung des Stellenwertes des Experiments bei der Unterrichtsplanung (und damit möglicherweise als Filter für die Materialnutzung) (vgl. Fischler, 2000b).

7.2.2.2. Unterrichtsplanung

Die Hauptkategorie *Unterrichtsplanung* ist in die Kategorien *2.1 Vorgehen bei der Unterrichtsplanung* und *2.2 Planungskriterien/Rahmenbedingungen* aufgegliedert, welche sich wiederum in Subkategorien ausdifferenzieren. Diese werden nun nacheinander vorgestellt.

2.1 Vorgehen bei der Unterrichtsplanung

Da die Nutzung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen im Prozess der Unterrichtsplanung einen hohen Stellenwert einnimmt (z.B. Bromme, 1981; Bromme & Hömberg, 1981; Haas, 1998; Tebrügge, 2001; Tänzer, 2011), wird das allgemeine Vorgehen bei der Unterrichtsplanung erfasst, um auf mögliche Zusammenhänge zur Materialnutzung schließen zu können. Breuer, Vogel-sang und Reinhold (2018) klassifizieren zum Umgang mit Unterrichtsmaterialien während der Unterrichtsplanung drei Typen: (a) den Pragmatiker, welcher zeiteffizient und zielführend bei der Materialnutzung vorgeht, (b) den Kreativen, welcher immer auf der Suche nach neuen Anregungen ist und regelmäßig neue Zugänge im Unterricht ausprobiert (vgl. Haas, 1998) und (c) den Vorsichtigen, welcher verschiedene Materialien miteinander vergleicht und sich in der Regel für konventionelle Zugänge entscheidet. Diese Typen bilden die Grundlage für die Entwicklung der Subkategorien unter Berücksichtigung des Datenmaterials, es wird also ein deduktiv-induktives Vorgehen für die Entwicklung dieser Subkategorien gewählt.

Die gebildeten Subkategorien wurden während der Auswertung der Pilotierung mehrfach überarbeitet. Bei zwei Subkategorien zeigten sich Decken- bzw. Bodeneffekte, weshalb diese verworfen wurden (*Flexibel/spontan* bzw. *Pflichtbewusst/gewissenhaft*). Zudem erschien es zielführend, die Subkategorien evaluativ auszudifferenzieren, um den Grad der Ausprägung festzuhalten. Daher werden auch diese Subkategorien global, also für einen gesamten Fall, vergeben. Aus den Überarbeitungen ergaben sich die folgenden Subkategorien.

2.1.1 Didaktische Innovationsbereitschaft

Ausprägung	Definition
a) Eher ja	Die Lehrperson orientiert sich an typischen Schülervorstellungen oder probiert verschiedene methodische oder (fach-)didaktische Zugänge aus mit dem Ziel, den Lernzuwachs der Schüler*innen zu optimieren. <i>Hinweis: Es muss deutlich werden, dass die Lehrperson Änderungen der Unterrichtspraxis vornimmt oder zumindest in naher Zukunft konkret plant - die reine Kenntnis solcher Zugänge reicht für eine Codierung nicht aus.</i>
b) Eher nein	Die Lehrperson kennt möglicherweise innovative didaktische Ansätze, setzt diese aber z.B. aufgrund mangelnder Ressourcen nicht im eigenen Unterricht um.
c) Nicht entscheidbar	Es kann keine eindeutige Einschätzung abgegeben werden.

Da es sich bei der vorliegenden Studie um die Untersuchung der Implementierung fachdidaktischer Innovation handelt, nimmt diese Subkategorie für die weitere Analyse einen zentralen Stellenwert ein.

2.1.2 Technische Innovationsbereitschaft

Ausprägung	Definition
a) Eher ja	Die Lehrperson tüftelt gerne in der Sammlung an neuen oder alternativen Experimenten. Es werden mitunter auch überdurchschnittlich häufig digitale Messwertsysteme, Applets o.Ä. im Unterricht eingesetzt.
b) Eher nein	Die Lehrperson probiert selten neue Experimente aus und/oder setzt diese im Unterricht um.
c) Nicht entscheidbar	Es kann keine eindeutige Einschätzung abgegeben werden.

Zunächst wurde zwischen 2.1.1 *Didaktische Innovationsbereitschaft* und 2.1.2 *Technische Innovationsbereitschaft* nicht unterschieden, sondern allgemein die Innovationsbereitschaft einer Lehrperson erfasst. Allerdings stellte sich bei der Pilotierung heraus, dass einige Physiklehrkräfte einen vermehrt technischen Blick haben, welcher in einer zusätzlichen Kategorie abgebildet werden sollte. In Anbetracht der Tatsache, dass sich unter den Vorstellungen zum Lehren und Lernen eine ähnliche Unterscheidung anhand des Forschungsstandes ableiten ließ (schülerorientiert und fachorientiert), erschien folglich eine Ausdifferenzierung sinnvoll. Darüber hinaus liefert die Pilotierung Grund zur Annahme, dass diese technische Perspektive sich auf die Rezeption von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen auswirken kann.

2.1.3 Pragmatisches Verhalten

Ausprägung	Definition
a) Eher ja	Die Lehrperson geht sehr routiniert und zeiteffizient bei der Unterrichtsvorbereitung vor. Dabei wird häufig bewusst abwogen, wie viel Zeit noch für die Unterrichtsplanung investiert werden kann bzw. sollte.
b) Eher nein	Die Lehrperson nimmt sich Zeit für die Unterrichtsplanung und sucht z.B. verschiedene Materialien und sucht immer wieder aktiv nach neuem Input (teilweise auch ohne konkreten Anlass).
c) Nicht entscheidbar	Es kann keine eindeutige Einschätzung abgegeben werden.

Diese Subkategorie war ursprünglich in die Subkategorien *Pragmatisch/zielorientiert* und *Strukturiert/durchdacht* aufgeteilt. Beim Interraten stellte sich jedoch heraus, dass eine Unterscheidung der beiden Subkategorien nur schwer zu realisieren ist. Weiterhin wurde die Subkategorie *Strukturiert/durchdacht* insgesamt nur wenig vergeben, weshalb die beiden Subkategorien zusammengelegt wurden.

In der Pilotierung stellte sich zudem heraus, dass bei einer niederschweligen Vergabe ein Deckeneffekt auftritt, da Lehrkräfte häufig pragmatische

Entscheidungen treffen (müssen). Nichtsdestotrotz können insbesondere bei der Nutzung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen personenspezifische Unterschiede bezüglich des pragmatischen Verhaltens ausgemacht werden, weshalb bei der Codierung vor allem der Aspekt der Materialnutzung fokussiert wird.

2.2 *Planungskriterien/Rahmenbedingungen*

Weiterhin sollen auch von den Lehrkräften wahrgenommene Kontextfaktoren bei der Planung von Unterricht oder der Nutzung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen festgehalten werden. Die Kategorie *2.2 Planungskriterien/Rahmenbedingungen* wurde inhaltlich-strukturierend gebildet und ergab sich in Anlehnung an Remillard (2005) deduktiv. Die im Folgenden vorstellten Subkategorien wurden hingegen induktiv gebildet. Bei einem anschließenden Abgleich mit dem derzeitigen Forschungsstand ließen sich nur vereinzelte Hinweise in der Literatur zu den entwickelten Subkategorien finden, da diese vermutlich teilweise sehr kontextspezifisch sind. Aus Darstellungsgründen werden Anmerkungen zum Entwicklungsprozess der Subkategorien zu den einzelnen Subkategorien in tabellarischer Form angeführt.

Subkategorie	Definition	Anmerkung
2.2.1 Eigene Ziele (über den Lehrplan hinaus)(vgl. Vollstädt et al., 1999; Tebrügge, 2001; Boesen et al., 2014)	Die Lehrperson behandelt Themen im Unterricht, die über die Lehrplanvorgaben hinaus gehen. Das kann sich auch auf fächerübergreifende Ziele bzw. Verknüpfungen beziehen.	Diese Subkategorie wurde während des Interratens ergänzt. Da bei den meisten Lehrkräften eine enge Orientierung am Lehrplan vorherrscht, wird es als nennenswerte Information eingestuft, wenn zusätzliche Ziele zum Lehrplan genannt werden.
2.2.2 Vorgaben durch den Lehrplan/prüfungsrelevant (vgl. Bromme & Hömberg, 1981; Vollstädt et al., 1999; Tebrügge, 2001; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012)	Die Lehrperson wählt Inhalte oder Themen aus, weil sie im Lehrplan stehen oder im Abitur häufig abgeprüft werden. Der Lehrplan als Vorgabe spielt eine zentrale Rolle in der Unterrichtsplanung, insbesondere wenn viele Schüler*innen Physik als Prüfungsfach im Abitur belegt haben. Ein möglicher Indikator kann bspw. der Bezug auf die 25 Schlüsselexperimente aus dem Lehrplan NRW sein.	Diese Subkategorie war ursprünglich in die Subkategorien <i>Vorgaben durch den Lehrplan, Schüler*innen haben Physik als Prüfungsfach, Schüler*innen haben Physik schriftlich</i> und <i>Inhalte früherer Abitur-Aufgaben</i> unterteilt. Diese Unterteilung erwies sich allerdings beim Interraten als nicht trennscharf. Daher wurden diese Subkategorien zusammengefasst.

2.2.3 Zuarbeit auf die nächste Klausur	Die Lehrkraft orientiert sich in der Unterrichtsvorbereitung daran, genügend Rechenaufgaben zum Abfragen in der Klausur zu haben (Kalkülbezug). Dazu werden teilweise extra Übungsstunden durchgeführt.	Diese Subkategorie wurde erst in der Haupterhebung hinzugefügt, da einige Lehrkräfte eine starke Tendenz zu Effekten wie <i>teaching to the test</i> oder einer Kalkülorientierung zeigten, weshalb dies eine zusätzlich interessante Information darstellt, die sich gut mit Auswahlkriterien zur Materialnutzung (Hauptkategorie 3) verknüpfen lässt.
2.2.4 Logische Reihenfolge	Die Lehrkraft legt Wert darauf, dass sich ein roter Faden durch den Unterricht zieht und die Reihenfolge der Themen (für sie) schlüssig aufgebaut ist.	-
2.2.5 Digitale Ausstattung der Schule	Wenn die Lehrperson plant, digitale Medien im Unterricht einzusetzen, muss sie die technische Ausstattung der Schule mit bspw. Medienräumen, Laptops oder WLAN-Zugang berücksichtigen.	-
2.2.6 Ausstattung der Sammlung (vgl. Jones & Carter, 2010)	Bei der Auswahl von Experimenten muss die Ausstattung der Sammlung berücksichtigt werden. Manche Experimentiermaterialien sind in der Sammlung nicht enthalten oder nicht einsatzbereit.	-
2.2.7 Nur wenige Schülerversuche für die Oberstufe	Aufgrund von nur wenig Experimentiermaterial oder teuren Versuchsaufbauten sind häufig nur Demonstrationsexperimente in der Oberstufe möglich, sodass selten Schülerversuche durchgeführt werden können.	-

<p>2.2.8 Kaum Experimente zur Quantenphysik (vgl. Müller & Wiesner, 2000)</p>	<p>Eine Schwierigkeit beim Thema Quantenmechanik ist aus Perspektive der Lehrperson, dass es kaum Experimente (Demonstrations- wie Schülerexperimente) gibt, die in der Schule realisiert werden können.</p>	<p>Es wurde zwischenzeitlich überlegt, diese Subkategorie mit 2.2.7 <i>Nur wenig Schülerversuche für die Oberstufe</i> zusammenzulegen, um die Anzahl von Subkategorien zu reduzieren. Da allerdings bei der Interpretation der Ergebnisse die Intention verfolgt wird, verschiedene Subkategorien über die verschiedenen Hauptkategorien hinweg miteinander in Beziehung zu setzen, erschien es doch sinnvoll, beide Subkategorien beizubehalten. Denn es werden Zusammenhänge mit den Vorstellungen zum Lehren und Lernen (mit 2.2.7) und Zusammenhänge mit dem „Filter“ der Materialnutzung (mit 2.2.8) vermutet.</p>
<p>2.2.9 Zur Verfügung stehende Unterrichtszeit (vgl. Bromme, 1981; Vollstädt et al., 1999)</p>	<p>Die Lehrkraft bedenkt bei der Unterrichtsplanung, wie viel Unterrichtszeit ihr (noch) zur Verfügung steht. Bspw. könnten Unterrichtsstunden durch bevorstehende Klausuren, Krankheit, Feiertage o. Ä. ausfallen, daher werden bewusst weniger Stunden eingeplant.</p>	<p>-</p>
<p>2.2.10 Kaum Zeit für die Unterrichtsplanung</p>	<p>Die Lehrkraft gibt an, nur wenig Zeit für die Unterrichtsplanung zu haben. Hätte sie mehr Zeit zur Verfügung, würde sie den Unterricht intensiver vorbereiten.</p>	<p>-</p>

7.2.2.3. Nutzung von Unterrichtsmaterialien

Die dritte Hauptkategorie subsumiert die Kategorien *3.1 Vorstellungen zur Materialnutzung*, *3.2 Inhaltliche Materialnutzungskriterien*, *3.3 Formale und pragmatische Materialnutzungskriterien*, *3.4 Genutzte Materialien bei der Unterrichtsvorbereitung und im Unterricht* und *3.5 Gründe für das Selbststudium*, welche sich in weitere Subkategorien ausdifferenzieren, die im weiteren Verlauf vorgestellt werden. Die Kategorien und Subkategorien wurden primär induktiv entwickelt, wobei als „Lesefilter“ des Textmaterials Gesichtspunkte aus der bisherigen Forschung zur Materialnutzung und -gestaltung

herangezogen wurden (vgl. Abschnitt 3.3.3 und 5.3.1; Beerenwinkel & Gräsel, 2005; Davis & Krajcik, 2005; Remillard, 2005; Davis, Janssen & van Driel, 2016; Bergqvist & Bergqvist, 2017).

In dieser Hauptkategorie waren keine größeren Änderungen nach der Pilotierung oder nach dem Interraten notwendig; bei den vorgenommenen Änderungen handelt es sich größtenteils um Ergänzungen oder Zusammenfassungen bei einer zu feinen Ausdifferenzierung.

3.1 Vorstellungen zur Materialnutzung

Die Kategorie *3.1 Vorstellungen zur Materialnutzung* wurde erst im Laufe der Haupterhebung gemäß der inhaltlich-strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse entwickelt, da in der Literatur bislang noch nicht von Vorstellungen zur Materialnutzung in einer systematischen Zusammenstellung berichtet wird. Nach der Sichtung mehrerer Fälle der Pilotierung entstand allerdings die Vermutung, dass Vorstellungen zur grundlegenden Nutzung oder zu übergeordneten Materialkriterien existieren, welche vermutlich einen großen Einfluss auf das Nutzungsverhalten der Lehrkräfte haben. Nach der Entwicklung von Subkategorien zu diesen Vorstellungen der Materialnutzung konnten auch in anderen Studien Hinweise für diese Vorstellungen gefunden werden, was als Bestätigung der Relevanz der entwickelten Subkategorie gewertet wird.

Subkategorie	Definition
3.1.1 Erfolgreiche Erprobung kein Qualitätsmerkmal (vgl. Köller, Möller & Möller, 2013)	Für die Lehrperson ist eine (empirische) Erprobung zur Einschätzung der Qualität oder der Wirksamkeit einer Unterrichtskonzeption nicht wichtig. Stattdessen schätzt sie aufgrund der eigenen Erfahrung die Qualität des Materials ab (Entscheidung nach „Bauchgefühl“).
3.1.2 Bevorzugung vertrauter Konzepte (vgl. Gräsel & Parchmann, 2004)	Die Lehrperson greift bevorzugt auf bekannte Konzepte oder Unterrichtselemente zurück (bspw. noch aus der eigenen Schulzeit), auch wenn ihr alternative Lernwege bekannt sind. Für die Lehrperson hat sich dieses Vorgehen bewährt.
3.1.3 Anpassungen nötig (vgl. Kahler, Hedtke & Schwier, 2000; Fishman & Krajcik, 2003; Beerenwinkel & Gräsel, 2005; Brown, 2012)	Die Lehrperson passt typischerweise Materialien auf ihre eigenen Bedürfnisse bzw. die der Schüler*innen an. Sie nimmt an, dass sie Unterrichtskonzeptionen nicht eins zu eins in ihrer Klasse implementieren kann bzw. denkt, dass von ihr als „gute Lehrkraft“ erwartet wird, dass Änderungen oder Anpassungen vorgenommen werden.

3.1.4 Optimierung des Schulbuches über die Zeit	Die Lehrperson vertritt die Ansicht, dass sich Schulbücher im Laufe der Zeit durch wiederholtes Überarbeiten langfristig verbessern. Daher orientiert sich die Lehrperson in erster Linie am Schulbuch, da sie dieses als qualitativ hochwertig einschätzt.
3.1.5 Baukasten-Prinzip (vgl. Vollstädt et al., 1999; Schneider & Krajcik, 2002; Beerenwinkel & Gräsel, 2005)	Die Lehrperson wünscht sich modular gestaltete Materialien, sodass sie auf einzelne Elemente wie bei einem Baukasten zurückgreifen kann und diese nach ihren eigenen Bedürfnissen zusammensetzen kann (Nutzung als „Steinbruch“).
3.1.6 Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen bzw. Stil (vgl. Vollstädt et al., 1999; Kahlert, Hedtke & Schwier, 2000)	Materialgestützte Unterrichtskonzeptionen müssen mit dem Vorgehen bzw. Stil der Lehrkraft vereinbar sein, andernfalls greift die Lehrkraft nicht darauf zurück oder passt sie ggf. an. Hierzu zählen Formulierungen oder die Verwendung von physikalischen Formelzeichen, die im Unterricht konsistent sein soll - es wird allerdings nicht immer deutlich, was genau die Lehrkraft unter „ihrem eigenen Vorgehen“ versteht.
3.1.7 Kaum Orientierung an materialgestützten Unterrichtskonzeptionen („Eigenbrötler“) (vgl. Vollstädt et al., 1999; Forbes & Davis, 2007)	Die Lehrperson agiert sehr frei und orientiert sich generell nicht eng an diversen materialgestützten Unterrichtskonzeptionen. Sie legt Wert auf Autonomie und Entscheidungsspielraum.

3.2 Inhaltliche Materialnutzungskriterien

Zur Erfassung von Auswahlkriterien der Materialnutzung wird zwischen den Kategorien *3.2 Inhaltliche Materialnutzungskriterien* und *3.3 Formale und pragmatische Materialnutzungskriterien* unterschieden. Auf diese Weise ist es möglich, Entscheidungskriterien, die eher auf Tiefenstrukturebene bzw. auf Sichtstrukturebene angesiedelt sind, zu identifizieren.

Subkategorie	Definition	Anmerkung
3.2.1 Interessant für die Lehrperson	Der Lehrperson ist es wichtig, dass materialgestützten Unterrichtskonzeptionen (auch) für sie interessant sind. Es werden bspw. bewusst zur Abwechslung neue Materialien aus gesucht, damit neue Zugänge in der eigenen Unterrichtspraxis ausprobiert werden können.	Diese Subkategorie wurde erst nach der Haupterhebung ergänzt, da sie dort bei mehreren Lehrkräften identifiziert wurde.
3.2.2 Passende Thementauswahl	Der Lehrperson ist es wichtig, welche Themen und inhaltlichen Schwerpunkte gelegt werden. Daher ist der Lehrkraft eine sinnvolle Auswahl von Themen in bereitgestellten Materialien wichtig.	-

<p>3.2.3 Lehrplanpassung (vgl. Merzyn, 1994; Niehaus, 2011)</p>	<p>Bei der Auswahl von Materialien spielt es für die Lehrkraft eine zentrale Rolle, ob diese kompatibel zum Lehrplan oder sogar direkt daran orientiert sind.</p>	<p>-</p>
<p>3.2.4 Roter Faden</p>	<p>Der Lehrkraft ist es wichtig, dass die Themenabfolge einer inhaltlich schlüssigen bzw. nachvollziehbaren Reihenfolge entspricht und der rote Faden stets erkennbar ist.</p>	<p>Die inhaltliche Strukturierung stellt ein Merkmal guten Unterrichts dar (vgl. Unterkapitel 2.1). Es ist daher interessant, dass dieses Merkmal von manchen Lehrkräften als Materialnutzungskriterium angewendet wird.</p>
<p>3.2.5 Gutes Angebot an Aufgaben (vgl. Bromme, 1981; Merzyn, 1994; Tebrügge, 2001)</p>	<p>Die Lehrkraft achtet darauf, dass ausgewählte Materialien viele bzw. geeignete Aufgaben für die Schüler*innen enthalten, und setzt Materialien gezielt ein, weil sie Übungsaufgaben enthalten. Dazu zählt auch der Einsatz von Arbeitsblättern, weil diese typischerweise Aufgaben enthalten.</p>	<p>Diese Subkategorie war ursprünglich in die Subkategorien <i>Hoher Anteil von Aufgaben</i> und <i>Elemente für den direkten Einsatz im Unterricht vorhanden</i> unterteilt. Da sich nach der Schulung verschiedener Beurteiler*innen für das Codieren allerdings zeigte, dass diese Unterscheidung schwierig zu bewerkstelligen ist, weil Elemente für den Einsatz im Unterricht oftmals Arbeitsblätter sind und typischerweise Aufgaben enthalten, wurden die beiden Subkategorien zusammengefasst.</p>
<p>3.2.6 Fachliche Richtigkeit (vgl. Niehaus, 2011)</p>	<p>Die fachliche Richtigkeit ist für die Lehrperson ein zentrales Qualitätskriterium.</p>	<p>-</p>
<p>3.2.7 Differenzierung im Schwierigkeitsgrad (vgl. Niehaus, 2011)</p>	<p>Materialgestützte Unterrichtskonzeptionen sollten für die Lehrkraft idealerweise im Schwierigkeitsgrad allgemein bzw. im mathematischen Anforderungsbereich differenzieren.</p>	<p>-</p>
<p>3.2.8 Aktualität des Materials (vgl. Niehaus, 2011; Neumann, 2015)</p>	<p>Ein Auswahlkriterium für die Lehrkraft stellt die Aktualität des Materials dar.</p>	<p>-</p>

<p>3.2.9 Für Schüler*innen angemessene Anforderungen (vgl. Vollstädt et al., 1999; Niehaus, 2011)</p>	<p>Der Lehrperson ist es bei der Auswahl von Materialien wichtig, dass das Schwierigkeitsniveau der Jahrgangsstufe angemessen ist (weder zu leicht noch zu schwer). Das bedeutet auch, dass die Lehrperson durch den Einsatz des Materials eine Steigerung des Lernzuwachses der Schüler*innen erwartet.</p>	<p>-</p>
<p>3.2.10 Empirisch nachgewiesene Wirksamkeit (vgl. Rochnia & Trempler, 2019)</p>	<p>Die Lehrkraft bewertet es positiv, wenn materialgestützte Unterrichtskonzeptionen erprobt wurden und die Wirksamkeit bzw. die Praxistauglichkeit der Materialien belegt werden konnte. Dies umfasst sowohl Erfahrungsberichte von Kolleg*innen als auch wissenschaftliche Untersuchungen.</p>	<p>Diese Subkategorie wurde aufgrund der Forschungsfragen deduktiv entwickelt. Sie wurde allerdings in der Haupterhebung um niederschwellige Evidenzformate wie der Erprobung von Kolleg*innen erweitert, da eine höhere Qualität der empirischen Evidenz (vgl. Abschnitt 3.3.3) von den befragten Lehrpersonen kaum angegeben wird.</p>
<p>3.2.11 In den Aufgaben geförderte Kompetenzen (Wiesner, Schecker & Hopf, 2011)</p>	<p>Die Lehrperson analysiert Aufgaben auf die darin geförderten bzw. geforderten Kompetenzen (bspw. unter Abgleich der Vorgaben durch das Zentralabitur) und wählt dann gezielt Aufgaben mit bestimmten Kompetenzanforderungen aus.</p>	<p>Diese Subkategorie wurde deduktiv in Anlehnung an die Output-Orientierung der Kernlehrpläne (z.B. Wiesner, Schecker & Hopf, 2011) entwickelt.</p>
<p>3.2.12 Didaktische Anregungen (Wiesner, Schecker & Hopf, 2011)</p>	<p>Die Lehrperson findet didaktische Anregungen in Materialien wie Hilfestellungen zum Umgang mit Lernschwierigkeiten, zu handlungsorientiertem Lehren, zu forschendem Lernen, zum methodischen Vorgehen etc. hilfreich.</p>	<p>Diese Subkategorie wurde deduktiv in Anlehnung an gängige (fach)didaktische Ansätze zum konstruktivistischen Lehren und Lernen entwickelt (z.B. Wiesner, Schecker & Hopf, 2011).</p>
<p>3.2.13 Alltagsbezug/ interessefördernd (Muckenfuß, 1995; Hoffmann, Häußler & Lehrke, 1998; Elster, 2010)</p>	<p>Die Lehrperson bewertet materialgestützte Unterrichtskonzeptionen, die einen Alltagsbezug enthalten oder auf ähnliche Art als interessefördernd eingestuft werden, als positiv. Dies umfasst bspw. Kontextorientierung oder den Einbezug der Smartphones der Schüler*innen aus motivationalen Gründen.</p>	<p>Diese Subkategorie wurde deduktiv entwickelt.</p>

3.3 Formale und pragmatische Materialnutzungskriterien

Diese Kategorie subsumiert neben den in Kategorie 3.2 erfassten inhaltlichen Materialnutzungskriterien Kriterien zur Auswahl materialgestützter Unterrichtskonzeptionen auf Sichtstrukturebene oder aufgrund von wahrgenommenen externen Randbedingungen. Alle Subkategorien wurden datenbasiert entwickelt und anschließend mit Erkenntnissen aus anderen Studien verglichen. Daher wird in der tabellarischen Vorstellung der Subkategorien auf eine dritte Spalte verzichtet, da kein Bezug zu deduktiven Vorannahmen hergestellt wurde.

Subkategorie	Definition
3.3.1 Arbeitserleichterung/geringer Arbeitsaufwand (vgl. Kahlert, Hedtke & Schwier, 2000; Niehaus, 2011)	Die Lehrperson betont, dass die Nutzung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen für sie eine Arbeitserleichterung oder zumindest möglichst wenig zusätzlichen Arbeitsaufwand darstellen soll (bspw. durch bereitgestellte Musterlösungen).
3.3.2 Geringer Kopieraufwand	Die Lehrkraft bevorzugt beim Materialeinsatz einen geringen Kopieraufwand (z.B. aufgrund des Kopierkontingents oder um den Schüler*innen nicht zu viele lose Blätter zu reichen).
3.3.3 Übersichtlichkeit (vgl. Vollstädt et al., 1999; Niehaus, 2011)	Der Lehrperson ist es wichtig, dass materialgestützte Unterrichtskonzeptionen übersichtlich bzw. optisch ansprechend gestaltet sind. Dazu zählen das Layout, die Strukturierung des Texts durch bspw. Absätze, Überblickstabellen oder fett gedruckte Begriffe im Fließtext sowie geeignete Visualisierungen.
3.3.4 Digitale Medien	Die Lehrkraft gibt an, dass digitale Medien eine gute Möglichkeit bieten, physikalische Inhalte zu visualisieren und für die Schüler*innen gut nachvollziehbar zu erklären. Dies trifft bspw. auf dynamische Animationen im Gegensatz zu statischen Abbildungen zu.
3.3.5 Detaillierte Ausarbeitung	Der Lehrkraft ist eine ausführliche Ausarbeitung von Materialien lieber als knappgehaltene Texte. So kann die Lehrkraft gegebenenfalls kürzen, falls sie zu umfangreich sein sollten.
3.3.6 Kompakte Darstellung (vgl. Vollstädt et al., 1999)	Der Inhalt sollte am besten kompakt und nicht zu umfangreich dargestellt werden. Lange Textpassagen werden in der Regel nur selektiv gelesen und umgesetzt.
3.3.7 Editierbarkeit (vgl. Reinhold, 1997)	Die Lehrkraft prüft, ob Materialien von ihr abgeändert werden können. Das beinhaltet die Frage, in welchem Format die Materialien vorliegen (bspw. Word-Dokument vs. pdf-Datei) und wie gut diese zu bearbeiten sind.

3.3.8 Verfügbarkeit des Materials (vgl. Neumann, 2015)	Die Lehrkraft gibt an, Materialien zu nutzen, die für sie oder für die Schüler*innen leicht zugänglich sind (Abonnement, Internet, Schulbuch etc.).
3.3.9 Nicht zu teuer (vgl. Neumann, 2015)	Materialgestützte Unterrichtskonzeptionen sollten nach Meinung der Lehrperson nicht zu teuer in der Anschaffung sein.
3.3.10 Passung zur Ausstattung der Schule (vgl. Bölsterli, Scheid & Hoesli, 2016)	Ein wichtiger Aspekt bei der Auswahl oder Umsetzung von Materialien ist, ob die in den Materialien geforderte (experimentelle) Ausstattung in der Schule vorhanden ist.

3.4 Genutzte Materialien zur Unterrichtsvorbereitung und im Unterricht

Die Subkategorien der Kategorie 3.4 *Genutzte Materialien zur Unterrichtsvorbereitung und im Unterricht* wurden deduktiv-induktiv entwickelt. Es sei darauf verwiesen, dass der Lehrplan nicht als Subkategorie aufgenommen wurde, weil er aufgrund seines Verbindlichkeitsgrades als Subkategorie bereits unter 2.2 *Planungskriterien/Rahmenbedingungen* subsumiert ist.

Die vorgestellte Kategorie war zwischenzeitlich in die Kategorien *Genutzte Materialien zur Unterrichtsvorbereitung und im Unterricht* und *Genutzte Materialien für das Selbststudium* aufgeteilt, da die persönliche Weiterbildung der Lehrkräfte aufgrund der im vorliegenden Forschungsprojekt eingenommenen Perspektive im Fokus steht. Diese Einteilung in *curriculum materials* und *educative curriculum materials* ist ebenfalls in der Literatur zu finden (vgl. Abschnitt 3.3.1). Beim Interview zeigte sich jedoch, dass aus den Äußerungen der Lehrkräfte diese Differenzierung der Nutzung nicht trennscharf getroffen werden kann, trotz spezifischer Fragen im Interview zur Anregung. Aus diesem Grund wurde auf eine Unterscheidung für die finale Auswertung verzichtet.

Subkategorie	Definition
3.4.1 Schulbuch (vgl. Tebrügge, 2001; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012)	Die Lehrperson nutzt das Schulbuch während der Unterrichtsvorbereitung oder im Unterricht oder für die Hausaufgaben.
3.4.2 Internet (vgl. Härtig, Kauertz & Fischer, 2012; Vorndran et al., 2014)	Die Lehrperson verwendet Materialien aus dem Internet für die Unterrichtsvorbereitung oder im Unterricht. Dazu zählen Internetportale für Lehrkräfte (z.B. LEIFIPhysik oder <i>4teachers</i>), Webseiten von Bildungseinrichtungen, Wikipedia etc.
3.4.3 Eigene Materialsammlung (vgl. Tebrügge, 2001; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012)	Die Lehrperson nutzt die eigene Materialsammlung in der Unterrichtsvorbereitung oder im Unterricht. Dazu zählen sowohl selbsterstellte Materialien als auch Materialien, die vor Jahren (aus nicht mehr zurückzufolgenden Quellen) ins eigene Repertoire übernommen und ggf. überarbeitet wurden.

3.4.4 (Physik-)Didaktische Zeitschriften (vgl. Tebrügge, 2001)	Die Lehrperson liest (fach-)didaktische Zeitschriften wie die MNU, Praxis der Naturwissenschaften oder Unterricht Physik.
3.4.5 Physikalische Zeitschriften (vgl. Tebrügge, 2001; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012)	Die Lehrperson liest physikalische Zeitschriften wie das Physik Journal.
3.4.6 Lehrbücher (vgl. Tebrügge, 2001; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012)	Die Lehrperson schlägt in Lehrbüchern nach, um fachliche Anregungen für den Unterricht zu bekommen oder um sich gezielt inhaltlich vorzubereiten.
3.4.7 Handreichungen/Begleitmaterial für Lehrkräfte (vgl. Tebrügge, 2001; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012)	Die Lehrperson verwendet Handreichungen oder Begleitmaterialien für Lehrkräfte zur Unterrichtsvorbereitung.
3.4.8 Fortbildungen/Tagungen/Messen (vgl. Härtig, Kauertz & Fischer, 2012)	Die Lehrperson besucht Fortbildungen, Tagungen oder Messen, um sich weiterzubilden. Streng genommen handelt es sich hierbei natürlich nicht um Materialien, dennoch werden sie als Professionalisierungsmöglichkeit für die Unterrichtsvorbereitung gezählt.
3.4.9 Austausch mit Kolleg*innen (vgl. Tebrügge, 2001; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012)	Der Austausch mit Kolleg*innen wird genutzt, um neue Ideen oder Anregungen für den eigenen Unterricht zu bekommen. Dabei kann (muss aber nicht) Material ausgetauscht werden (vgl. Subkategorie 3.4.9).
3.4.10 Populärwissenschaftliche Bücher/Materialien/Fernsehen (vgl. Tebrügge, 2001)	Die Lehrperson liest populärwissenschaftliche Bücher bspw. über Physik oder die Historie bzw. schaut Dokumentationen o.Ä. im Fernsehen. Dies kann aus reinem Interesse oder bewusst zur Aneignung von Hintergrundwissen geschehen.

3.5 Gründe für das Selbststudium

Die Subkategorien zur Kategorie 3.5 Gründe für das Selbststudium sind allesamt induktiv entwickelt worden.

Subkategorie	Definition
3.5.1 Anregungen/Interesse	Ein Grund für das Selbststudium ist, dass die Lehrkraft Spaß daran hat, sich weiterzubilden und interessiert ist, etwas Neues dazuzulernen. Dazu nutzt die Lehrkraft Materialien als Anregung für den eigenen Unterricht. Sie betont, dass sie es langweilig findet, in jedem Durchlauf dasselbe zu unterrichten.
3.5.2 Fachliche Vorbereitung/Vertiefung (vgl. Härtig, Kauertz & Fischer, 2012; Kleickmann et al., 2016; Davis et al., 2017)	Die Lehrperson nutzt Materialien, um sich fachlich vorzubereiten bzw. um das eigene Wissen zu fachlichen Inhalten zu vertiefen.
3.5.3 Vorbereitung eines neuen Themas	Die Lehrkraft bereitet sich für Themen, die sie bisher noch nicht unterrichtet hat, gesondert vor, was das Selbststudium miteinschließt.

3.5.4 Allgemeines Hintergrundwissen	Die Lehrperson möchte das eigene Hintergrundwissen erweitern, um bspw. mit den Schüler*innen auch über den Tellerrand schauen zu können.
3.5.5 Keine oder kaum Zeit zum Selbststudium	Die Lehrkraft gibt an, dass sie kaum Zeit für die eigene Weiterbildung erübrigen kann.

7.2.2.4. Aussagen zum bereitgestellten Unterrichtskonzept MILQ

Hauptkategorie 4. *Aussagen zum bereitgestellten Unterrichtskonzept MILQ* setzt sich aus den Kategorien 4.1 *Bekanntheit*, 4.2 *Zugriff auf MILQ*, 4.3 *Meinung zu MILQ*, 4.4 *Nicht genutzte Elemente* und 4.5 *Grad der Umsetzung von MILQ* zusammen. Diese wurden in Teilen vermehrt theoriegeleitet und in Teilen eher datengeleitet entwickelt.

4.1 Bekanntheit

Diese Kategorie wurde deduktiv entwickelt, um den Umgang mit MILQ mit dem Bekanntheitsgrad in Verbindung setzen zu können.

Ausprägung	Definition
a) Ja	Die Lehrperson kannte das Unterrichtskonzept schon vor Beginn der Studie.
b) Nein	Die Lehrperson ist auf das Unterrichtskonzept erst durch die Teilnahme an der Studie aufmerksam geworden.

4.2 Zugriff auf MILQ

Diese Kategorie wurde ebenfalls deduktiv entwickelt, da die Bereitstellung von MILQ über drei verschiedene Medien (Internet, Materialordner, DVD) erfolgen kann (vgl. Abschnitt 5.2.2). Darüber hinaus stellt die Bereitstellung von Unterrichtsmaterialien als *open educational resources* eine gängige Implementationsstrategie dar, weshalb folglich die Zugriffsweise von Interesse ist.

Subkategorie	Definition
4.2.1 Website	Die Lehrperson greift auf die Materialien des Münchener Unterrichtskonzepts (teilweise) online auf der Website zurück.
4.2.2 Ordner	Die Lehrperson nutzt den bereitgestellten ausgedruckten Materialordner, um auf MILQ zurückzugreifen.
4.2.3 DVD	Die Lehrperson verwendet Dateien von der beigefügten DVD.

4.3 Meinung zum Unterrichtskonzept MILQ

Die Kategorie unterteilt sich in 4.3.1 *Geringe Qualität des Konzepts* und 4.3.2 *Hohe Qualität des Konzepts*, welche sich wiederum in Subkategorien ausdifferenzieren. Die Subkategorien wurden in Anlehnung an 3.2 *Inhaltliche Materialnutzungskriterien* und 3.3 *Formale und pragmatische Materialnut-*

zungskriterien gebildet, sodass ein späterer Vergleich möglich ist. Allerdings ist induktiv eine Anpassung an die geäußerten Aspekte von MILQ erfolgt, weshalb es durchaus Abweichungen zu den allgemeinen Materialkriterien gibt. Abschließend wurden die Subkategorien mit den Erkenntnissen aus dem derzeitigen Forschungsstand abgeglichen.

Da bereits zwischen Lob und Kritik von MILQ differenziert wird, wird auf eine weitere Unterscheidung von pragmatischen und inhaltlichen Kriterien verzichtet (wie von 3.2 *Inhaltliche Materialnutzungskriterien* und 3.3 *Formale und pragmatische Materialnutzungskriterien*), was aber natürlich eine spätere Aufschlüsselung in der Auswertung nicht ausschließt. Aufgrund unterschiedlicher subjektiver Einschätzungen der befragten Lehrpersonen kommen einige Subkategorien sowohl als Lob als auch als Kritik vor.

4.3.1 Geringe Qualität des Konzepts

Subkategorie	Definition
a) Nichts Neues (vgl. Gräsel & Parchmann, 2004)	MILQ liefert der Lehrperson keine neuen Erkenntnisse oder Informationen, die nicht ohnedies aus typischen Unterrichtsgängen zur Quantenphysik bekannt sind.
b) Wenig Experimentier-vorschläge	Die Lehrperson hat sich mehr Experimentier-vorschläge, insbesondere für neue/ungewöhnliche Experimente zur Quantenphysik, von MILQ erhofft.
c) Fehlende Beispiele/Anwendungen (vgl. Vollstädt et al., 1999)	Die Lehrperson kritisiert, dass im Material Anwendungen oder Anwendungsaufgaben, wie bspw. zur Quantenkryptographie oder zu Quantencomputern, zu kurz kommen.
d) Nicht von Lehrkräften entwickelt (vgl. Vollstädt et al., 1999)	Die Lehrperson kritisiert, dass die Materialien nicht von anderen Lehrkräften entwickelt wurden. Dies zeichnet sich nach Meinung der Lehrperson in der geringen Praktikabilität des Konzepts ab.
e) Zu wenig Aufgaben (vgl. Bromme, 1981; Merzyn, 1994; Tebrügge, 2001)	Die Lehrperson kritisiert, dass MILQ zu wenig Aufgaben oder Aufgabenvarianten wie Umkehr-aufgaben oder Aufgaben mit anderen Zahlenwerten enthält.
f) Benutzerunfreundliche Simulationen	Die Lehrperson schätzt die Simulationen als wenig benutzerfreundlich oder komfortabel zu bedienen ein. Darunter fallen auch technische Schwierigkeiten in der Bedienung.
g) Kein Mehrwert der Simulationen	Die Lehrperson sieht keinen oder kaum einen Mehrwert im Einsatz einer der Simulationen aus dem Konzept, bspw. im Gegensatz zu einem Film oder Alternativen wie Fotos o. Ä.
h) Fachliche bzw. sprachliche Fehler (vgl. Niehaus, 2011)	Die Lehrkraft kritisiert fachliche Fehler bzw. Fehler in der Rechtschreibung oder Grammatik im Unterrichtskonzept.

i) Inkonsistent zur eigenen Notation/zur eigenen Formulierungen (vgl. Merzyn, 1994)	Die Lehrkraft nutzt eine andere Notation für physikalische Größen oder Einheiten und sieht dadurch mögliche Lernschwierigkeiten für die Schüler*innen.
j) Mehr Übersichtlichkeit/weniger Umfang erwünscht (vgl. Vollstädt et al., 1999; Niehaus, 2011)	Die Lehrperson wünscht sich mehr Übersichtlichkeit bzw. weniger Umfang für die Materialien, dabei bezieht sie sich typischerweise auf die Sortierung im Ordner oder den Umfang der Texte.
k) Fehlender Text für Schüler*innen (vgl. Schneider & Krajcik, 2002)	Der Lehrperson fehlt ein Text, der den Schüler*innen zum Lesen gegeben werden kann. Den Lehrtext aus dem Konzept hält die Lehrperson nur für Lehrkräfte geeignet.
l) Kein angemessenes Anforderungsniveau für die Schüler*innen (vgl. Vollstädt et al., 1999; Niehaus, 2011)	Die Lehrperson schätzt das Niveau des Unterrichtskonzepts bzw. von Teilen des Unterrichtskonzepts als hoch oder sogar zu hoch für die Schüler*innen (zumindest im GK) ein.
m) Nicht immer lehrplankonform (vgl. Merzyn, 1994; Niehaus, 2011)	Die Lehrperson merkt an, dass nicht alle Themen aus dem Unterrichtskonzept im Lehrplan enthalten sind und daher eine enge Orientierung an MILQ nicht zielführend ist.
n) Kritik an Kapitel 2 (Präparation)	Die Lehrperson findet Kapitel 2 zum Thema <i>Präparation dynamischer Eigenschaften</i> nicht wichtig bzw. überflüssig.
o) Sonstiges	Die Lehrperson kritisiert das Unterrichtskonzept, wobei keine konkreten oder keine den Kategorien zuzuordnenden Angaben gemacht werden.

4.3.2 Hohe Qualität des Konzepts

Subkategorie	Definition
a) Gut zur eigenen Vorbereitung geeignet (vgl. Härtig, Kauertz & Fischer, 2012)	Die Lehrperson findet MILQ gut zur eigenen Vorbereitung und als Anregung für den Unterricht geeignet. Dies bezieht sich bspw. auf fachliche Hintergrundinformationen.
b) Material zur Quantenphysik generell hilfreich	Die Lehrperson ist froh, überhaupt Materialien zum Unterrichten von Quantenphysik zu haben.
c) Simulationen enthalten	Die Lehrperson findet es grundsätzlich gut, dass MILQ Simulationen beigefügt sind und kann es sich vorstellen, einige davon im eigenen Unterricht einzusetzen.
d) Kompakte Darstellung des Inhalts (vgl. Vollstädt et al., 1999; Niehaus, 2011)	Die Lehrperson lobt die kompakte Darstellung der Inhalte in Textpassagen des Lehrtexts.
e) Texte für Schüler*innen enthalten (vgl. Schneider & Krajcik, 2002)	Die Lehrperson findet es gut, dass auch Texte für Schüler*innen in MILQ enthalten sind. Bspw. können nach Einschätzung der Lehrperson Auszüge aus dem Lehrtext oder Infotexte an Schüler*innen gegeben werden.
f) Gute Abbildungen (vgl. Härtig, Kauertz & Fischer, 2012)	Die Lehrperson lobt die im Konzept enthaltenen Abbildungen.

g) Aufgaben (vgl. Bromme, 1981; Merzyn, 1994; Tebrügge, 2001)	Die Lehrperson lobt die im Konzept enthaltenen Aufgaben bzw. dass überhaupt Aufgaben enthalten sind.
h) Selbstständiges Zusammenstellen möglich (vgl. Reinhold, 1997)	Die Lehrperson lobt an MILQ, dass sie die Materialien daraus eigenständig zusammenstellen und eigene Schwerpunkte setzen kann.
i) Angemessenes Niveau für Schüler*innen (vgl. Vollstädt et al., 1999; Niehaus, 2011)	Die Lehrperson findet im Großen und Ganzen das Niveau des Unterrichtskonzepts für Schüler*innen geeignet. Möglicherweise werden Abstriche für den GK gemacht.
j) Fachliche Richtigkeit (vgl. Niehaus, 2011)	Die Lehrperson lobt explizit korrekt dargestellte fachliche Aspekte aus dem Konzept.
k) Strukturierung/Übersichtlichkeit (vgl. Niehaus, 2011)	Die Lehrperson lobt die Strukturierung des Texts bspw. durch Überschriften, Spiegelstriche oder Hervorhebungen innerhalb des Fließtexts bzw. die Übersichtlichkeit oder das Layout insgesamt. Dazu zählen auch Vernetzungen oder Verweise innerhalb des Konzepts.
l) Gute Erklärungen	Die Lehrperson findet, dass im Konzept schwierige fachliche Inhalte gut nachvollziehbar erklärt werden (dies kann sich sowohl auf das Verständnis der Lehrperson als auch auf die Schüler*innen beziehen).
m) Lob von Kapitel 2 (Präparation)	Die Lehrperson lobt das 2. Kapitel aus MILQ zum Thema <i>Präparation</i> , weil sie dieses Thema als einen wichtigen Aspekt der Quantenphysik einschätzt.
n) Lehrplankonform (vgl. Merzyn, 1994; Niehaus, 2011)	Nach Einschätzung der Lehrperson ist das Unterrichtskonzept innerhalb der Lehrplanvorgaben gut einsetzbar. <i>Hinweis: Das kann dennoch bedeuten, dass manche Themen nach Meinung der Lehrkraft über die Lehrplan-Vorgaben hinaus gehen.</i>
o) Roter Faden	Die Lehrperson lobt, dass sich ein roter Faden durch das Unterrichtskonzept zieht.
p) Sonstiges	In dieser Kategorie werden alle unspezifischen Aussagen von Lehrkräften, welche aber ein Lob des Unterrichtskonzepts beinhalten, festgehalten.

4.4 Nicht genutzte Elemente

Die Kategorie *4.4 Nicht genutzte Elemente* bezieht sich auf Elemente aus MILQ, die von der Lehrkraft nicht genutzt bzw. übersprungen wurden. Die Kategorie bezieht sich nicht auf die Umsetzung von MILQ, sondern explizit nur auf die Auseinandersetzung der Lehrkraft mit MILQ. Dementsprechend sind die Subkategorien in Orientierung an den Aufbau von MILQ unter Abgleich der Äußerungen der Lehrkräfte gebildet worden.

Subkategorie	Definition	Anmerkung
4.4.1 Artikel	Der Artikel aus der Zeitschrift <i>Praxis der Naturwissenschaften</i> , der im Ordner ganz vorne abgeheftet ist, wurde nicht gelesen.	Diese Subkategorie ist insofern wichtig, weil im Artikel als einzige Stelle in MILQ die Ziele und Intentionen von MILQ explizit formuliert sind. Da aus der Literatur bekannt ist, dass materialgestützte Unterrichtskonzeptionen von Lehrkräften teilweise entgegen der von den Autor*innen intendierten Ziele eingesetzt werden (vgl. Abschnitt 3.3.3), erscheint es wichtig abzuklären, inwieweit sich die Lehrkräfte mit den intendierten Zielen auseinandergesetzt haben.
4.4.2 Kapitel 8 & 9 (Aufbaukurs)	Die Lehrperson hat bei der Auseinandersetzung mit MILQ Kapitel 8 und 9 (den Aufbaukurs) übersprungen.	-
4.4.3 Alles nach Kapitel 2	Die Lehrperson hat (bislang - also zum Zeitpunkt des jeweiligen Interviews) nur die ersten beiden Kapitel gelesen.	-
4.4.4 Simulationen	Die Lehrperson hat sich nicht die Simulationen von der DVD angeschaut.	-
4.4.5 Sonstiges	Aus den Äußerungen der Lehrperson wird deutlich, dass sie bestimmte Elemente nicht (vollständig) genutzt hat, sie benennt diese jedoch nicht explizit.	-

4.5 Grad der Umsetzung von MILQ

Ursprünglich war es angedacht, sich für den Grad der Umsetzung von MILQ an den *Levels of Implementation* nach Hall et al. (1975) zu orientieren.⁶² Nach der Pilotierung zeigte sich jedoch, dass diese Einteilung für die vorliegende Arbeit zu kleinschrittig ist, da – wenn überhaupt – nur die unteren vier Stufen erreicht werden. Auch die verschiedenen Ebenen können anhand der vorliegenden Daten nicht trennscharf voneinander unterschieden werden. Stattdessen wurde daher datengeleitet herausgearbeitet, welche Elemente

⁶²Hall et al. (1975) entwickelten eine Matrix zur Beschreibung des Implementationsgrades auf verschiedenen Ebenen. Die Ausprägung der Implementation unterteilen sie in acht Stufen: *Non-Use, Orientation, Preparation, Mechanical Use, Routine, Refinement, Integration* und *Renewal*. Dabei unterscheiden sie die Ebenen *Knowledge, Acquiring Information, Sharing, Assessing, Planning, Status Reporting* und *Performing*.

aus MILQ von den teilnehmenden Lehrkräften verwendet wurden, um diese als Basis für die Subkategorien zu verwenden. Somit erfolgt die Erfassung des Grads der Umsetzung auf Sichtstrukturebene, wobei sich aus der Summe der (nicht) implementierten Elemente durchaus ableiten lässt, ob auch die in MILQ verfolgten Ziele oder Intentionen umgesetzt wurden.

Subkategorie	Definition
4.5.1 Lehrtext als Anregung	Die Lehrperson liest den Lehrtext als Anregung für sich selbst bzw. die Unterrichtsplanung.
4.5.2 Teile des Lehrtextes im Unterricht	Die Lehrperson kopiert Teile des Lehrtextes und gibt diese den Schüler*innen zum Lesen/Erarbeiten.
4.5.3 Mach-Zehnder-Interferometer	Das Unterrichtskonzept regt die Lehrperson dazu an, das Mach-Zehnder-Interferometer im Unterricht zu behandeln.
4.5.4 Aufbaukurs weggelassen	Die Lehrperson gibt an, keine im Aufbaukurs enthaltenen Aspekte im Unterricht zu behandeln.
4.5.5 Kapitel 2 weglassen	Die Lehrperson gibt an, das Thema <i>Präparation</i> aus Kapitel 2 nicht im Unterricht zu behandeln.
4.5.6 Entnehmen einzelner Elemente	Die Lehrperson greift sich gezielt einzelne Elemente wie Infotexte, Arbeitsblätter oder auch ganze Kapitel aus dem Lehrtext heraus und setzt diese im Unterricht ein. Es geht dabei im Wesentlichen um stundenspezifische Elemente – und nicht um das zugrundeliegende Konzept von MILQ.
4.5.7 AB Fragen zum Photoeffekt	Die Lehrperson nutzt das Arbeitsblatt Fragen zum Photoeffekt. Dies kann sowohl als Anregung für den Unterricht als auch für den Einsatz im Unterricht sein.
4.5.8 AB Quantitative Auswertung des Photoeffekts	Die Lehrperson verwendet das Arbeitsblatt quantitative Auswertung des Photoeffekts.
4.5.9 AB Selbstkontrolle im PU	Die Lehrperson verwendet das Arbeitsblatt Selbstkontrolle im Physikunterricht.
4.5.10 AB Grundprinzipien der QM	Die Lehrperson verwendet eines der drei Arbeitsblätter zu den drei Grundprinzipien der Quantenmechanik.
4.5.11 Simulationen	Die Lehrperson verwendet eine oder mehrere der Simulationen aus MILQ.
4.5.12 Keine oder geringfügige Umsetzung	Die Lehrperson setzt nach eigenen Angaben kaum oder gar nichts aus dem Unterrichtskonzept im Unterricht ein.
4.5.13 Sonstiges	Die Lehrperson nutzt das Unterrichtskonzept, wobei sie entweder Kürzungen oder Ergänzungen vornimmt bzw. es unklar bleibt, was sie genau mit dem Unterrichtskonzept macht.

7.2.2.5. Aussagen zur Quantenphysik

Die Hauptkategorie 5. *Aussagen zur Quantenphysik* gliedert sich in die Kategorien 5.1 *Selbstwirksamkeitserwartungen beim Unterrichten von Quantenphysik*, 5.2 *Persönliches Interesse an der Quantenphysik*, 5.3 *Ziele der Quantenphysik in der Schule*, 5.4 *Behandlung quantenmechanischer Phänomene*, 5.5 *Stellenwert der Mathematik im Quantenphysikunterricht* und 5.6 *Schwierigkeiten beim Unterrichten von Quantenphysik*. Es gab ursprünglich eine weitere Kategorie 5.7 *Verständnistiefe der Quantenphysik*, welche sich auf das Wissen der Lehrperson zum Thema Quantenphysik bezog. Es stellte sich beim Interview jedoch heraus, dass diese Kategorie schwierig zu vergeben ist und darüber hinaus in den Interviews insgesamt eher selten auftrat, weil in den Interviews nicht explizit Fragen zum Fachwissen oder fachdidaktischen Wissen zur Quantenphysik gestellt werden. Weiterhin können einige der betreffenden Aussagen auch unter der Hauptkategorie 6. *Reflexion* erfasst werden, weshalb die Kategorie 5.7 *Verständnistiefe der Quantenphysik* aus dem Kategoriensystem herausgenommen wurde.

Zwischenzeitlich stellte sich ferner die Frage, inwieweit die Haltung der befragten Lehrkräfte zur Quantenphysik (z.B. ontologische oder epistemische Haltung, Willer, 2003) oder deren Deutung (vgl. Friebe et al., 2018) charakterisiert werden kann. Allerdings stellte sich ebenfalls das Problem ein, dass dazu nicht ausreichend Aussagen vorliegen. Es ist allerdings bereits ein interessanter Befund, dass die teilnehmenden Lehrkräfte ihre eigene Haltung zur Quantenphysik kaum explizieren.

Die Kategorien und deren Subkategorien wurden primär deduktiv-induktiv entwickelt, wie nun im Folgenden berichtet wird.

*5.1 Selbstwirksamkeitserwartungen beim Unterrichten von Quantenphysik*⁶³
Wie schon bereits bei der Entwicklung der Interviewleitfäden berichtet wurde (Abschnitt 5.3.1), stellen die Selbstwirksamkeitserwartungen einen wichtigen Einflussfaktor auf das professionelle Handeln von Lehrkräften (Bandura, 1997) und speziell auch auf das Nutzungsverhalten von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen (Gregoire, 2003; Möller, 2010) dar. Aus diesem Grund wird dieses Konstrukt als Kategorie im Kategoriensystem abgebildet.

Die Ausprägung *eher unsicher* war ursprünglich in mehrere Subkategorien ausdifferenziert um abzubilden, in welchen Bereichen sich eine Lehrperson unsicher fühlt (z.B. sprachliche Formulierungen, Unbestimmtheitsrelation oder Anwendungen). Da sich während des Codiertrainings jedoch zeigte, dass aufgrund des großen Umfangs des Kategoriensystems die Beurteiler*innen Schwierigkeiten hatten, alle Kategorien und Subkategorien präsent zu haben, wurde aufgrund der Praktikabilität und Handhabung auf

⁶³Diese Kategorie wird global für den gesamten Fall codiert.

diese Ausdifferenzierung – die im Übrigen je Fall sehr unterschiedlich ausfiel und daher schwierig zu verallgemeinern war – verzichtet.

Subkategorie	Definition
a) Eher sicher	Die Lehrperson fühlt sich sicher beim Unterrichten von Quantenphysik in der Schule.
b) Eher unsicher	Die Lehrperson fühlt sich unsicher beim Unterrichten von Quantenphysik in der Schule.
c) Nicht entscheidbar	Es kann keine eindeutige Einschätzung abgegeben werden.

5.2 Persönliches Interesse an der Quantenphysik⁶⁴

Die Kategorie 5.2 *Persönliches Interesse an der Quantenphysik* wurde während der Pilotierungsphase hinzugefügt, da sich zeigte, dass mehrere Lehrpersonen sich zwar unsicher beim Unterrichten von Quantenphysik fühlen, das Thema aber sehr interessant finden. Dies erscheint als ein wichtiger Aspekt für die Motivation, sich mit dem Thema auseinanderzusetzen zu wollen, was wiederum die Innovationsbereitschaft beeinflussen könnte (vgl. Gregoire, 2003).

Subkategorie	Definition
a) Eher hoch	Die Lehrperson gibt an, sich gerne mit dem Thema <i>Quantenphysik</i> zu beschäftigen und das Thema interessant zu finden.
b) Eher gering	Die Lehrperson gibt an, sich ungern mit der Quantenphysik auseinanderzusetzen bzw. dass es sich nicht um das „Lieblingsthema“ oder das „Steckenpferd“ handelt.
c) Nicht entscheidbar	Es kann keine eindeutige Einschätzung abgegeben werden.

5.3 Ziele der Quantenphysik in der Schule

Diese Kategorie ist deduktiv gebildet worden, um die von den teilnehmenden Lehrkräften intendierten Ziele mit den von Müller (2003) genannten Zielen von MILQ zu vergleichen. Auch ein Abgleich mit den genannten Zielen des jeweiligen Kernlehrplan erscheint zielführend. Die Subkategorien sind jedoch textbasiert gebildet worden. Einige konnten im Abgleich mit empirischen oder heuristischen Empfehlungen zur Quantenphysik in der Schule bestätigt werden, worauf bei den jeweiligen Subkategorien verwiesen wird.

Subkategorie	Definition
5.3.1 Bruch zur klassischen Physik (vgl. Müller, 2003; Stadermann, van den Berg & Goedhart, 2019)	Der Bruch zur klassischen Physik wird als zentraler Aspekt der Quantenphysik im Unterricht von der Lehrperson genannt. Damit sind die Gegensätze zwischen den Gesetzen der makroskopischen und mikroskopischen Welt gemeint (bspw. Indeterminismus).

⁶⁴Diese Kategorie wird global für den gesamten Fall codiert.

5.3.2 Welle-Teilchen-Problematik (Müller, 2003; KMK, 2004a)	Die Lehrperson nennt die Vereinbarkeit von Wellen- und Teilcheneigenschaften bei Quantenobjekten als zentralen Aspekt der Quantenphysik für den Physikunterricht. Dazu zählen insbesondere Äußerungen zum Welle-Teilchen-Dualismus.
5.3.3 Teilcheneigenschaften von Licht (vgl. KMK, 2004a)	Die Lehrperson nennt die Teilcheneigenschaft von Licht, wie sie bspw. mit dem Photoeffekt verdeutlicht werden kann, als einen zentralen Aspekt der Quantenphysik für den Physikunterricht.
5.3.4 Welleneigenschaften von Quantenobjekten (vgl. KMK, 2004a)	Die Lehrkraft findet einen zentralen Aspekt der Quantenphysik für den Physikunterricht die Welleneigenschaften von Elektronen oder anderen Quantenobjekten wie Protonen, Fulleren etc.
5.3.5 Energiequantelung	Die Lehrperson gibt an, die Energiequantelung als wichtigen Aspekt der Quantenphysik im Physikunterricht zu sehen. Dazu zählt bspw. die Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums mittels Gegenfeldmethode.
5.3.6 Interpretationsfragen (vgl. Müller, 2003)	Die Lehrperson findet die Behandlung von Interpretations- bzw. Deutungsfragen im Sinne eines qualitativen Verständnisses der Quantenphysik zentral für die Schule.
5.3.7 Wahrscheinlichkeitsinterpretation (vgl. Müller, 2003; KMK, 2004a)	Die Lehrperson findet die Interpretation von Wahrscheinlichkeitsverteilungen wie beim Doppelspaltversuch mit einzelnen Quantenobjekte zentral und betont das indeterministische Verhalten einzelner Quantenobjekte. Es sind demnach nur Vorhersagen für ein Ensemble möglich.
5.3.8 Historische Entwicklung (vgl. Stadermann, van den Berg & Goedhart, 2019)	Die Lehrperson gibt an, die historische Entwicklung der Quantenphysik bzw. die Einbettung in den historischen Kontext für den Physikunterricht wichtig zu finden.
5.3.9 Potentialtopf	Die Lehrperson hält die Behandlung des Potentialtopfes für ein wichtiges Thema für den Physikunterricht.
5.3.10 Unbestimmtheitsrelation (vgl. KMK, 2004a)	Die Lehrperson nennt die Unbestimmtheitsrelation als ein wichtiges Thema der Quantenphysik in der Schule.
5.3.11 Diskussion von (Atom-)Modellen (vgl. Müller, 2003; Müller & Schecker, 2018; Stadermann, van den Berg & Goedhart, 2019)	Die Lehrperson benennt entweder explizit oder implizit, dass sie die Diskussion bzw. den Umgang mit (Atom-)Modellen als einen wichtigen Aspekt für die Quantenphysik hält, sodass den Schüler*innen deutlich wird, dass die Physik lediglich Modelle und nicht die Realität beschreibt.
5.3.12 Erkenntnisgewinn/moderne Physik (vgl. Fischler, 1992; Reinhold, 2006; Stadermann, van den Berg & Goedhart, 2019)	Die Lehrperson findet die Quantenphysik wichtig, um naturwissenschaftliche Arbeitsweisen und den Erkenntnisprozess in der Wissenschaft nachzuvollziehen. Dazu zählen auch Aspekte der modernen Physik.

5.3.13 Messprozess (vgl. Müller, 2003; KMK, 2004a)

Die Lehrperson betont, dass die Messung den Zustand des Quantenobjekts beeinflusst, wie bspw. den Verlust der Interferenzfähigkeit, wenn beim Doppelspalt z.B. gemessen wird, durch welchen Spalt ein Elektron sich bewegt.

5.4 *Behandlung quantenmechanischer Phänomene*

Diese Kategorie wurde erst nach dem Codiertraining von 5.3 *Ziele der Quantenphysik in der Schule* separiert. Aus den Interviews wird deutlich, dass einige Lehrkräfte teilweise Versuche bzw. Phänomene explizit als Ziele des Physikunterrichts nennen. Dies ist vermutlich durch die Lehrplanreform in NRW verstärkt worden, nach der obligatorisch 25 Schlüsselexperimente im Grundkurs Physik (KLP NRW, 2014) durchgeführt werden müssen. Um dieses Verhalten festzuhalten, wurde diese zusätzliche Kategorie eingeführt. Somit wurden sowohl die Kategorie als auch die subsumierten Subkategorien deduktiv-induktiv entwickelt.

Subkategorie	Definition
5.4.1 Lichtelektrischer Effekt (Schlüsselexperiment im KLP NRW, 2014, für den GK)	Die Lehrperson setzt den lichtelektrischen Effekt (Hallwachs/Photoeffekt) im Unterricht ein.
5.4.2 Ein-Photon-Interferenz	Die Lehrperson setzt das Phänomen einzelne Photonen beim Doppelspalt-Versuch bzw. beim Mach-Zehnder-Interferometer im Unterricht ein.
5.4.3 Elektronen/Atome/Moleküle am Doppelspalt	Die Lehrperson setzt das Phänomen Elektronen/Atome/Moleküle am Doppelspalt-Versuch im Unterricht ein.
5.4.4 Elektronenbeugungsröhre (Schlüsselexperiment im KLP NRW, 2014, für den GK)	Die Lehrperson setzt den Versuch Elektronenbeugungsröhre im Unterricht ein.
5.4.5 Compton-Effekt	Die Lehrperson bespricht den Compton-Effekt im Unterricht.
5.4.6 Franck-Hertz-Versuch (Schlüsselexperiment im KLP NRW, 2020, für den GK)	Die Lehrperson setzt den Franck-Hertz-Versuch im Unterricht ein.
5.4.7 Röntgenröhre (Schlüsselexperiment im KLP NRW, 2014, für den GK)	Die Lehrperson setzt die Röntgenröhre bzw. Röntgenbremsstrahlung als Versuch im Unterricht ein (als Umkehrung des Photoeffekts).
5.4.8 Schrödingers Katze	Die Lehrperson bespricht Schrödingers Katze als Gedankenexperiment im Unterricht.

5.5 *Stellenwert der Mathematik im Quantenphysikunterricht*

Diese Kategorie orientiert sich an der kalkülorientierten Aufgabenkultur in Deutschland (Wiesner, Schecker & Hopf, 2011) – insbesondere, weil die Quantenphysik durch einen mathematischen Formalismus geprägt ist. Erstaunlicherweise zeigte sich nach der Auswertung der Pilotierung, dass die

befragten Lehrpersonen selbst im Leistungskurs keinen hohen Mathematisierungsgrad anzustreben scheinen. Daher wurde überlegt, diese Kategorie zu streichen, wenn damit lediglich ein Bodeneffekt festgehalten wird. Gleichwohl wäre dies vor dem Hintergrund der bereits genannten Aufgabenkultur durchaus ein wichtiges Ergebnis, weshalb die Kategorie beibehalten wurde.

Subkategorie	Definition
5.5.1 Mathematisch anspruchsvoll	Die Lehrperson hält an einem gewissen mathematischen Anforderungslevel fest. Dabei kann sie durchaus auch einräumen, die Anforderungen nicht zu hoch legen zu wollen.
5.5.2 Geringe mathematische Anforderungen	Die Lehrperson hält den Mathematisierungsgrad zum Thema Quantenphysik gering. Es wird z.B. keine Wellenfunktion eingeführt und nicht die Schrödingergleichung berechnet. Das bezieht sich insbesondere auf den GK.
5.5.3 Anpassung an den Kurs	Die Lehrperson passt das mathematische Anforderungsniveau an den jeweiligen Kurs an. Dabei spielt für die Lehrperson häufig eine Rolle, ob der Großteil der Schüler*innen Mathematik als LK oder als GK belegt hat.

5.6 Schwierigkeiten beim Unterrichten von Quantenphysik

Diese Kategorie trug ursprünglich den Titel *Lernschwierigkeiten in der Quantenphysik* und sollte mit den Ergebnissen aus der Schülervorstellungsforschung zur Quantenphysik verglichen werden (vgl. Abschnitt 5.1.3). Allerdings stellte sich nach der Auswertung der Pilotierung heraus (und manifestierte sich in der Haupterhebung), dass die befragten Lehrkräfte oftmals eher allgemein mit *MILQ* antworteten, weshalb die Kategorie weitergefasst wurde. Der angedachte Vergleich zu typischen Schülervorstellungen kann nichtsdestotrotz ausgeführt werden. Demnach wurden die Subkategorien induktiv entwickelt und danach mit dem aktuellen Forschungsstand abgeglichen.

Subkategorie	Definition
5.6.1 Mathematische Anforderungen (vgl. Fischler, 1992)	Die mathematischen Anforderungen bzw. der mathematische Formalismus der Quantenphysik bereitet nach Ansicht der Lehrperson vielen Schüler*innen Schwierigkeiten.
5.6.2 Berücksichtigung der Interessen der Schüler*innen	Die Lehrperson versucht, die Interessen der Schüler*innen im Unterricht zu berücksichtigen, schätzt aber die Elementarisierung einiger quantenmechanischer Phänomene als schwierig ein.
5.6.3 Hoher Abstraktionsgrad (vgl. Müller, 2003)	Die Lehrperson nennt als Schwierigkeit, dass viele Aspekte der Quantenphysik sehr theoretisch und abstrakt sind.
5.6.4 Geeignete Veranschaulichungen	Die Lehrperson findet es schwierig, geeignete Veranschaulichungen, Analogien oder Versuche für quantenmechanische Phänomene zu finden.

5.6.5 Welle-Teilchen-Problematik (vgl. Müller, 2003; Müller & Schecker, 2018)	Die Lehrperson nennt die Welle-Teilchen-Problematik (Komplementaritätsprinzip) und somit den Gegensatz zum Verhalten makroskopischer Objekte als besondere Schwierigkeit der Quantenphysik.
5.6.6 Keine Ortseigenschaft von Quantenobjekten (vgl. Müller, 2003; Müller & Schecker, 2018; als zu erreichendes Lernziel bei den EPA (KMK, 2004a) aufgeführt)	Die Lehrperson nennt als eine Schwierigkeit, das Welcher-Weg-Experiment bzw. den „Weg“ von Quantenobjekten im Interferometer o.Ä. nachzuvollziehen. Dies kann sich auf die Schüler*innen oder auf die Lehrperson beziehen.
5.6.7 Interpretation von Messergebnissen	Die Lehrperson stuft die Interpretation von Messergebnissen aus Versuchen zu quantenmechanischen Phänomenen für die Schüler*innen als schwierig ein. Sie geht davon aus, dass es fraglich ist, ob die Schüler*innen wirklich die richtigen Schlüsse aus dem Experiment ziehen.
5.6.8 Wahrscheinlichkeitsinterpretation (vgl. Müller, 2003; Müller & Schecker, 2018)	Die Lehrperson findet die Interpretation von Wahrscheinlichkeitsprognosen und Häufigkeitsaussagen für die Schüler*innen schwierig.
5.6.9 Akzeptanz der Schüler*innen (vgl. Müller & Schecker, 2018)	Die Lehrperson findet es für die Schüler*innen eine Herausforderung, die Theorie der Quantenphysik zu akzeptieren, obwohl für die Schüler*innen ein tieferes Verständnis aufgrund fehlender Mathematikkenntnisse nicht möglich ist. Stattdessen müssen sich die Schüler*innen erst in diese neue Theorie hineindenken und sich an diese neue Denkweise „gewöhnen“.
5.6.10 Quantenphysik zu Beginn der Q1	Die Lehrperson findet es schwierig, Quantenphysik bereits zu Beginn der Qualifikationsphase in der Q1 zu unterrichten, weil die Schüler*innen zum einen dann noch jünger sind und ihnen deswegen mitunter abstraktes Denken noch schwerer fällt und zum anderen, weil bestimmte Themeninhalte wie elektromagnetische Felder oder Bragg-Reflexion noch nicht behandelt wurden, welche aber im weiteren Verlauf wichtiges Vorwissen darstellen.

7.2.2.6. Reflexion

Diese Hauptkategorie trug anfangs den Titel *Stundenspezifische Aspekte* und wurde zusätzlich für die Auswertung der *stimulated recalls* und des Abschlussinterviews gebildet, um retrospektive Äußerungen der Lehrkräfte zu den beobachteten Unterrichtsstunden bzw. zur Unterrichtsreihe zu erfassen. Sie umfasst die Kategorien *6.1 Reflexionsschwerpunkt* und *6.2 Zufriedenheit*.

Darüber hinaus gab es ursprünglich zusätzlich die Kategorie *Ziele der Unterrichtsstunde*, welche sich in Festigen/Wiederholen, Erarbeiten und Anwenden aufspaltete. Dies war allerdings schwierig handhabbar und ließ sich

nicht eindeutig von der Subkategorie *1.3 Berücksichtigung des Vorwissens* abgrenzen, weshalb letztendlich auch unter Perspektive des ohnedies schon umfangreichen Kategoriensystems darauf verzichtet wurde. Aufgrund dieser Reduktion wurde die Hauptkategorie daher dann in *Reflexion* umbenannt. Die bestehenden Kategorien wurden deduktiv entwickelt, es wurden anschließend datenbasiert Anpassungen vorgenommen.

6.1 Reflexionsschwerpunkt⁶⁵

Diese Kategorie ist untergliedert in die Subkategorien *6.1.1 Fachdidaktische Perspektive*, *6.1.2 Fachliche Perspektive* und *6.1.3 Unterrichtspraktische Perspektive*. Diese Aufteilung orientiert sich an dem Modell der Reflexionskompetenz von Nowak, Kempin, Kulgemeyer und Borowski (2019) sowie in Anlehnung an Baumert und Kunter (2006) (vgl. Abschnitt 2.2.1). Die unterrichtspraktische Perspektive erfasst neben allgemein didaktischen Überlegungen auch organisatorische oder logistische Entscheidungen, die ebenfalls erfasst werden sollten und daher dieser Subkategorie zugeordnet wurden.

Auf Basis dieser Modellierungen wird eine Einschätzung der jeweiligen Ausprägung der Reflexionstiefe mithilfe evaluativer Kategorien angestrebt (vgl. Kuckartz, 2018). Diese unterteilen sich in *a) Eher oberflächlich*, *b) Eher tiefgreifend* und *c) Nicht entscheidbar*. Ursprünglich betrug die Abstufung der Ausprägungen *a) Ohne Angabe/oberflächlich*, *b) Urteil mit Angabe von möglichen Ursachen*, *c) Urteil mit Angabe von möglichen Alternativen/Konsequenzen* und *d) Urteil mit begründeter Abwägung*, was sich beim Interraten allerdings als wenig praktikabel erwies.

6.1.1 Fachdidaktische Perspektive

Ausprägung	Definition
a) Eher oberflächlich	Die Lehrperson reflektiert auf einer oberflächlichen Ebene fachdidaktische Aspekte der Unterrichtsstunde oder der Unterrichtsgestaltung (wie bspw. die Einbettung von Experimenten oder mögliche Lernschwierigkeiten). Sie beschreibt dabei Unterrichtssituationen, benennt Probleme und/oder hat eine vage Vorstellung von möglichen Handlungsalternativen.
b) Eher tiefgreifend	Die Lehrperson reflektiert auf einer tiefgreifenden Ebene fachdidaktische Aspekte der Unterrichtsstunde oder der Unterrichtsgestaltung. Das bedeutet, die Lehrperson benennt Alternativen oder Konsequenzen und gibt Begründungen für ihre Entscheidungen.
c) Nicht entscheidbar	Es kann keine eindeutige Einschätzung abgegeben werden.

⁶⁵Diese Kategorie wird global für den gesamten Fall codiert.

6.1.2 Fachliche Perspektive

Ausprägung	Definition
a) Eher oberflächlich	Die Lehrperson reflektiert auf einer oberflächlichen Ebene fachliche Aspekte der Unterrichtsstunde oder der Unterrichtsgestaltung (wie etwa fachliche Hintergründe oder die Auswahl von Unterrichtszielen vor dem Hintergrund der fachlichen Klärung). Sie beschreibt dabei Unterrichtssituationen, benennt Probleme und/oder hat eine vage Vorstellung von möglichen Handlungsalternativen.
b) Eher tiefgreifend	Die Lehrperson reflektiert auf einer tiefgreifenden Ebene fachliche Aspekte der Unterrichtsstunde oder der Unterrichtsgestaltung. Das bedeutet, die Lehrperson benennt Alternativen oder Konsequenzen und gibt Begründungen für ihre Entscheidungen.
c) Nicht entscheidbar	Es kann keine eindeutige Einschätzung abgegeben werden.

6.1.3 Unterrichtspraktische Perspektive

Ausprägung	Definition
a) Eher oberflächlich	Die Lehrperson reflektiert auf einer oberflächlichen Ebene unterrichtspraktische Aspekte der Unterrichtsstunde oder der Unterrichtsgestaltung (wie bspw. der Umgang mit Störungen oder räumliche Gegebenheiten). Sie beschreibt dabei Unterrichtssituationen, benennt Probleme und/oder hat eine vage Vorstellung von möglichen Handlungsalternativen.
b) Eher tiefgreifend	Die Lehrperson reflektiert auf einer tiefgreifenden Ebene unterrichtspraktische Aspekte der Unterrichtsstunde oder der Unterrichtsgestaltung. Das bedeutet, die Lehrperson benennt Alternativen oder Konsequenzen und gibt Begründungen für ihre Entscheidungen.
c) Nicht entscheidbar	Es kann keine eindeutige Einschätzung abgegeben werden.

6.2 Zufriedenheit⁶⁶

Diese Kategorie erfasst ebenfalls reflektierende Äußerungen der Lehrperson, allerdings wird hiermit festgehalten, inwieweit die Lehrperson Zufriedenheit mit ihrem Unterricht zur Quantenphysik äußert. Sie kann als Teil der Motivation aufgefasst werden, welche Einfluss auf die Innovationsbereitschaft der Lehrperson hat (Gregoire, 2003).

Subkategorie	Definition
a) Zufrieden mit der Unterrichtsreihe	Die Lehrperson gibt an, insgesamt zufrieden mit der Unterrichtsreihe zur Quantenphysik zu sein.
b) Eher unzufrieden mit der Unterrichtsreihe	Die Lehrperson gibt an, mit der Unterrichtsreihe zur Quantenphysik unzufrieden zu sein bzw. dass der Unterricht nicht so ablief, wie dies ursprünglich geplant war.
c) Nicht entscheidbar	Es kann keine eindeutige Einschätzung abgegeben werden.

⁶⁶Diese Kategorie wird global für den gesamten Fall codiert.

7.2.3. Codierung der Interviews

Die Codierung der Interviews unterteilt sich in die Vergabe (a) von globalen, also fallbasierten, Kategorien und (b) von lokalen Kategorien, also der Zuordnung von konkreten Textpassagen (vgl. Abschnitt 7.2.2). Tabelle 7.3 gibt einen Überblick über die jeweilige Codiereinheit der verschiedenen Kategorien.

- 1) Vorstellungen zum Lehren und Lernen
 - 1.1 Schüleraktivierend*
 - 1.2 Lehrergelenkt*
 - 1.3 Berücksichtigung des Vorwissens*
 - 1.4 Fachsystematisch*
 - 1.5 Motivierend*
 - 1.6 Experiment handlungsleitend*
- 2) Unterrichtsplanung
 - 2.1 Vorgehen bei der Unterrichtsplanung*
 - 2.2 Planungskriterien/Rahmenbedingungen
- 3) Materialnutzung
 - 3.1 Vorstellungen zur Materialnutzung
 - 3.2 Inhaltliche Materialnutzungskriterien
 - 3.3 Formale/pragmatische Materialnutzungskriterien
 - 3.4 Genutzte Materialien bei der Unterrichtsvorbereitung/im Unterricht
 - 3.5 Gründe für das Selbststudium
- 4) Aussagen zu MILQ
 - 4.1 Bekanntheit*
 - 4.2 Zugriff auf MILQ*
 - 4.3 Meinung zum Konzept
 - 4.4 Nicht genutzte Elemente
 - 4.5 Grad der Umsetzung
- 5) Aussagen zur Quantenphysik
 - 5.1 Selbstwirksamkeitserwartungen beim Unterrichten von QP*
 - 5.2 Persönliches Interesse an QP*
 - 5.3 Ziele der QP im Physikunterricht
 - 5.4 Behandlung quantenmechanischer Phänomene
 - 5.5 Stellenwert der Mathematik im Quantenphysikunterricht
 - 5.6 Schwierigkeiten beim Unterrichten von QP
- 6) Reflexion
 - 6.1 Reflexionsschwerpunkt*
 - 6.2 Persönliches Fazit*

Tabelle 7.3.: Übersicht über die Codiereinheit der Kategorien: Alle mit * markierten Kategorien werden global für einen Fall codiert, alle anderen lokal.

Bei der globalen Vergabe von Subkategorien wird folgendermaßen vorgegangen. Es werden alle Interviews zu einem Fall gelesen. Als Hilfsmittel für die globale Einschätzung können Textpassagen markiert und Kommentare geschrieben werden. Im Anschluss erfolgt die Gesamteinschätzung für die betreffende Person. Diese Einschätzung orientiert sich zum einen an der Häufigkeit markierter Textstellen und zum anderen an deren inhaltlichen Gewichtung.

So ist es bspw. prinzipiell möglich, eine Person trotz nur einer identifizierten Textpassage für eine Subkategorie der entsprechenden Ausprägung dieser Subkategorie zu zuordnen.⁶⁷ Hierfür wird keine explizite Entscheidungsregel formuliert, da sowohl innerhalb eines Falles als auch fallübergreifend eine Abschätzung vorgenommen werden soll. Es sollen auf diese Weise Boden- oder Deckeneffekte in der Stichprobe vermieden werden, stattdessen erfolgt die Einschätzung einzelner Personen auch im Abgleich mit den Ausprägungen der anderen Fälle. So kommt es zu einer differenzierten Charakterisierung der einzelnen Personen innerhalb der Stichprobe. Es wird also neben einer objektiven (normativen) auch eine soziale Bezugsnorm angelegt.

Bei der lokalen Vergabe von Subkategorien basierend auf Textpassagen werden die Interviews einzeln ausgewertet. Gleichwohl die Codierung absatzweise erfolgt, wird immer der situative Textzusammenhang (insbesondere die gestellte Frage) bei der Codierung berücksichtigt. Teilweise müssen auch vorangehende oder nachfolgende Textpassagen in die Interpretation einbezogen werden, um eine Zuweisung zu ermöglichen (bspw. um zu erkennen, ob sich die befragte Person explizit auf MILQ oder allgemein auf Materialien bezieht).

Die lokale Vergabe der Subkategorien erfolgt in drei Zyklen, um vor dem Hintergrund des sehr umfangreichen Kategoriensystems ein systematisches Vorgehen beim Codieren zu gewährleisten. Im ersten Zyklus werden im Text bedeutsame Textpassagen den jeweiligen Hauptkategorien zugeordnet. Dabei müssen nicht notwendigerweise alle Absätze codiert werden. Durch diese „grobe“ Codierung auf oberster Hierarchieebene des Kategoriensystems erfolgt eine Vorauswahl an Textstellen zur Entlastung der Beurteiler*innen. Dieses Verfahren dient zum einen der Entscheidungsfindung, da das Datenmaterial auf diese Weise in Themenbereiche unterteilt werden muss (bspw. ob es sich um allgemeine Randbedingungen der Unterrichtsplanung oder um Kriterien für die Auswahl von Materialien handelt). Zum anderen müssen die Beurteiler*innen nicht direkt aus einer Vielzahl von Subkategorien die passende vergeben. Im nächsten Zyklus werden nur noch die vorcodierten Textpassagen betrachtet (bei Bedarf natürlich auch der nähere Textzusam-

⁶⁷Ein mögliches Beispiel ist, wenn eine Person an einer Stelle in den Interviews angibt, dass sie sich sehr unsicher im Unterrichten von Quantenphysik fühlt.

menhang) und es wird eine Zuweisung der Kategorien je Hauptkategorie vorgenommen.

Im letzten Zyklus werden die codierten Textstellen Subkategorien zugeordnet. Dabei wird grundsätzlich ein gesamter Absatz codiert, auch falls eine Zuweisung der Subkategorie nur anhand eines bestimmten Ausdrucks vorgenommen wird. So wird verhindert, dass eine Subkategorie in einem Absatz mehrfach codiert wird, was gegen die Einhaltung der festgelegten Codierereinheit verstieße. Weiterhin sind Mehrfachcodierungen sowohl innerhalb einer Hauptkategorie als auch darüber hinaus zugelassen, da die Interpretation aus verschiedenen Blickrichtungen zugelassen werden soll (bspw. ist es denkbar, dass bei der Nennung von Materialauswahlkriterien auch Bezug auf die Unterrichtsziele zur Quantenphysik genommen wird, vgl. Abb. 7.4). Dies ist nach klassischer qualitativer Inhaltsanalyse nicht vorgesehen (stattdessen werden dichotome Kategorien angestrebt), nichtsdestotrotz befürworten Schreier (2012) und Kuckartz (2018) aus einer vermehrt hermeneutischer Betrachtungsweise dieses Vorgehen.

Die codierten Interviews sowie die daraus abgeleitete Personen-Kategorien-Matrix sind der beigefügten DVD zu entnehmen.⁶⁸

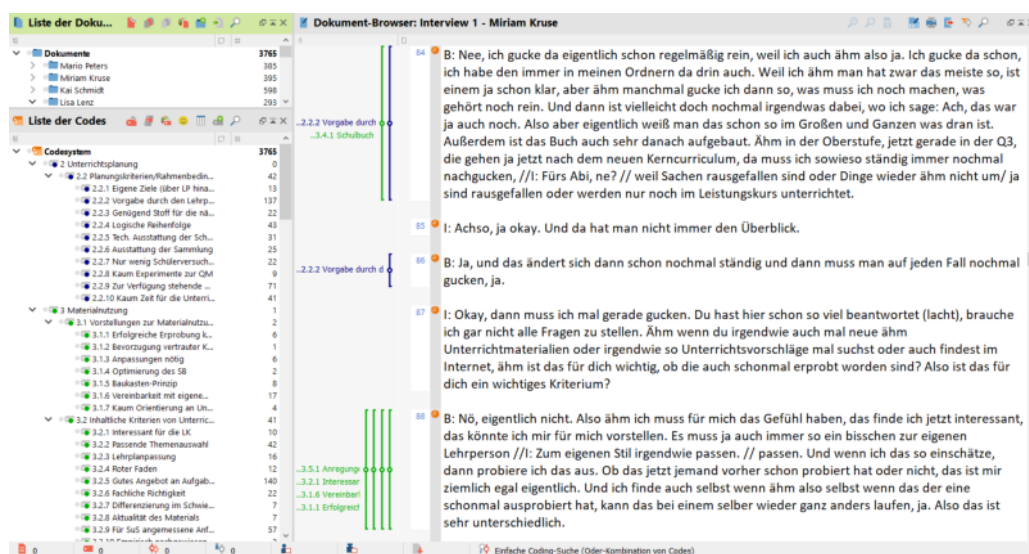


Abbildung 7.4.: Lokale Codierung von Subkategorien in MAXQDA (Screenshot).

⁶⁸Die Unterrichtsaufzeichnungen sind aufgrund ihres großen Speichervolumens nicht der DVD beigefügt und können aus datenschutzrechtlichen Gründen lediglich lokal zur Verfügung gestellt werden. Auf Anfrage können diese aber selbstverständlich eingesehen werden.

7.3. Gütekriterien

Im Folgenden werden qualitätssichernde Maßnahmen und Limitationen der vorliegenden Studie vorgestellt und diskutiert. Langanhaltende kontroverse Diskussionen über wissenschaftliche Standards sowohl in der quantitativen Forschung (z.B. Messick, 1994; Kane, 2013) als auch in der qualitativen Forschung (z.B. Lincoln & Guba, 1985; Kirk & Miller, 1986; Mayring, 2002; Flick, 2014; Kuckartz, 2018) demonstrieren jedoch die Schwierigkeit, diesbezüglich eine zufriedenstellende Lösung zu finden. Ausgehend von der angesprochenen Debatte wird in einem ersten Schritt argumentiert, welche Gütekriterien an das vorliegende Forschungsvorhaben angelegt werden (vgl. Abschnitt 7.3.1). In einem zweiten Schritt werden, einem argumentbasierten Validitätsansatz folgend (Messick, 1994; Kane, 2013; Rabe, Meinhard & Krey, 2018; Göhner & Krell, 2020), Limitationen und die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse diskutiert (vgl. Abschnitt 7.3.2).

7.3.1. Gütekriterien in der qualitativen Forschung

Ausgangspunkt der Debatte zu Gütestandards in der qualitativen Forschung bilden die klassischen Gütekriterien *Objektivität*, *Reliabilität* und *Validität*, welche ursprünglich aus der quantitativen Forschungstradition stammen (Bortz & Döring, 2006). Als objektiv wird ein interpersonaler Konsens bezeichnet; das bedeutet, „unterschiedliche Forscher müssen bei der Untersuchung desselben Sachverhalts mit denselben Methoden zu vergleichbaren Resultaten kommen können“ (Bortz & Döring, 2006, 326). Die Reliabilität gibt darüber hinaus Auskunft über die Genauigkeit der Forschungsergebnisse, also inwiefern der Forschungsgegenstand durch das Forschungsdesign und die Datenauswertung exakt erfasst wird (Mayring, 2002). Ferner definiert Messick (1989) Validität folgendermaßen:

„Validity is an integrated evaluative judgement of the degree to which empirical evidence and theoretical rationales support the *adequacy* and *appropriateness* of *inferences* and *actions* based on test scores or other modes of assessment“ (Messick, 1989, 13, Hervorhebungen übernommen).

Die Validität ist insofern nicht als Eigenschaft eines Erhebungsinstruments zu verstehen, sondern bezieht sich auf die Interpretation von Forschungsergebnissen (Kane, 2001).

Da qualitative Forschung im Gegensatz zur quantitativen Forschung vermehrt induktiv, interpretativ und weniger standardisiert geprägt ist (Bortz & Döring, 2006; Strübing, Hirschauer, Ayaß, Krähnke & Scheffer, 2018), ist fraglich, inwieweit die klassischen Gütekriterien auf die qualitative Forschung übertragen werden können. Flick (2014) hinterfragt sogar, ob die

Vorgabe von Forschungsstandards nicht sogar prinzipiell den Grundsätzen der qualitativen Forschung widerspricht, deren Stärke zweifelsohne in einer nicht-standardisierten, nicht-kontrollierten Erhebungs- und Auswertungssituation liegt.

7.3.1.1. Status quo der Debatte zu Gütekriterien der qualitativen Forschung

In dem genannten Diskurs zur Übertragbarkeit der klassischen Gütekriterien auf die qualitative Forschung können drei unterschiedliche Standpunkte identifiziert werden (Kuckartz, 2018, 202):

- (1) „Universalität von Gütekriterien (also gleiche Kriterien für die qualitative und quantitative Forschung)“,
- (2) „Spezifität von Gütekriterien für die qualitative Forschung“ und
- (3) „Ablehnung von Gütekriterien für die qualitative Forschung“.

Der zweite Standpunkt kann dabei noch in die Forderung einer Reformulierung klassischer Gütekriterien bzw. einer Neuformulierung von alternativen Kriterien differenziert werden (vgl. Flick, 2014; Kuckartz, 2018), sodass insgesamt eher von einem Kontinuum der Ausprägung zwischen den beiden Polen der Beibehaltung klassischer Gütekriterien (1) und der strikten Ablehnung von Gütekriterien für die qualitative Forschung (3) gesprochen werden kann.

Bortz und Döring (2006) können dem ersten Standpunkt zugeordnet werden. Sie heben insbesondere die interne und externe Validität als wichtige Maße auch für die qualitative Forschung hervor (vgl. Miles & Hubermann, 1994).

- *Interne Validität*: Kann die Interpretation tatsächlich plausibel aus den erhobenen Daten abgeleitet werden? Werden die Interpretationen durch Triangulation abgesichert bzw. können aufgedeckte Widersprüche plausibel erklärt werden? Wurden konkurrierende Erklärungen erwogen? Können Vorhersagen auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse getroffen werden?
- *Externe Validität*: Inwieweit sind die abgeleiteten Muster und Interpretationen auf andere Situationen bzw. andere (nicht untersuchte) Fälle verallgemeinerbar?

Schreier (2012) schließt sich ebenfalls dem Standpunkt (1) an, da es aus ihrer Sicht aufgrund des mangelnden Konsenses bezüglich alternativer Gütekriterien keine zufriedenstellende Option gibt, sodass eine Entscheidung für einen alternativen Katalog willkürlich wäre.

Kuckartz (2018) befürwortet hingegen eine Modifikation der klassischen Gütekriterien für die qualitative Forschung und spricht sich für eine teilweise Neuformulierung der klassischen Gütekriterien aus, also für Standpunkt (2). Für die Formulierung neuer Gütekriterien in enger Orientierung an die klassischen Gütekriterien zieht er die Gegenüberstellung aus Tabelle 7.4 hinzu.

Gütekriterien quantitativer Forschung	Gütekriterien qualitativer Forschung
Objektivität	Bestätigbarkeit (confirmability)
Reliabilität	Zuverlässigkeit, Verlässlichkeit, Auditierbarkeit (reliability, dependability, auditability)
Interne Validität	Glaubwürdigkeit, Verlässlichkeit (credibility, authenticity)
Externe Validität	Übertragbarkeit, Passung (transferability, fittingness)

Tabelle 7.4.: Gegenüberstellung klassischer und alternativer Gütekriterien (Miles, Hubermann & Saldana 2014, zitiert nach Kuckartz, 2018, 202).

Kuckartz schlägt in Anlehnung an die interne bzw. externe Validität die Begriffe *interne Studiengüte* (Zuverlässigkeit, Verlässlichkeit, Auditierbarkeit, Regelgeleitetheit und intersubjektive Nachvollziehbarkeit) bzw. *externe Studiengüte* (Übertragbarkeit und Verallgemeinerbarkeit) vor. Dadurch möchte er signalisieren,

„dass die klassischen Kriterien nicht einfach übertragen werden können, sondern dass sie modifiziert und erweitert werden sollen und der prozedurale Charakter qualitativer Forschung stärker zu berücksichtigen ist“ (Kuckartz, 2018, 203).

Mayring (2002), Helfferich (2011) und Flick (2014) sprechen sich ebenfalls für Standpunkt (2) aus, wobei sie ausdrücklich neue Gütekriterien für die qualitative Forschung fordern. Flick (2014) stellt alternativ die folgenden Gütekriterien für qualitative Forschung auf.

- *Transparenz:* Welche methodischen Entscheidungen wurden getroffen und wie beeinflussen diese die Ergebnisse?
- *Dokumentation der Vorgehensweise:* Warum wurde welche Methode ausgewählt? Welche Entscheidungen fielen im Forschungsprozess und wie stimmig beziehen sie sich aufeinander?

-
- *Intersubjektive Nachvollziehbarkeit*: Wird eine Studie so dargestellt, dass die Leser*innen die methodischen Entscheidungen und Vorgehensweisen möglichst detailliert beurteilen können?

Insgesamt empfiehlt er, dass

„die Wahl der Methoden begründet dargestellt wird, die konkreten Vorgehensweisen expliziert werden, die dem Projekt zu Grunde liegenden Ziel- und Qualitätsansprüche benannt werden und die Vorgehensweisen so transparent dargestellt werden, dass Leser sich ein eigenes Bild über Anspruch und Wirklichkeit des Projektes machen können“ (Flick, 2014, 422).

Strübing et al. (2018) schließen sich ebenfalls Standpunkt (2) an, liefern jedoch einen anderen Vorschlag für alternative Gütekriterien qualitativer Forschung.

- *Gegenstandsangemessenheit*: Abgestimmtheit von Theorie, Fragestellung und Methode
- *Empirische Sättigung*: Umfang und Zusammensetzung des Datenkorpus, *Theoretical Sampling*
- *Theoretische Durchdringung*: Erschließung des Felds mithilfe der Theorie, Einordnung der Ergebnisse in die Theorie, induktiv-deduktives Vorgehen
- *Textuelle Performanz*: Berichterstattung, Reduktion der Fülle und Vielfalt des erhobenen Datenmaterials auf ein darstellbares Maß, Auswahl aufschlussreicher Einzelfälle
- *Originalität*: Generierung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse

Dabei deklarieren sie die Gegenstandsangemessenheit als Basiskriterium mit dem höchsten Stellenwert. Da einige Aspekte wie etwa in Bezug auf die textuelle Performanz von außen nur schwer beurteilbar sind,⁶⁹ rufen Strübing et al. (2018) zu einer selbstreflexiven Haltung der Forscher*innen auf (vgl. Helfferich, 2011).

Hinter dem dritten Standpunkt, der Ablehnung von Gütekriterien für die qualitative Forschung, verbirgt sich in der Regel die Haltung, die Aufstellung von Gütekriterien für qualitative Forschung sei im heterogenen Feld der qualitativen Methoden exkludierend und verhindere die Etablierung neuartiger und origineller Methoden (Eisewicht & Grenz, 2018; Reichertz, 2019). Das

⁶⁹Dies bezieht sich z.B. auf die folgenden Fragen (Strübing et al., 2018, 93): „Was soll berichtet werden? Wie lässt sich die Fülle und Vielfalt des erhobenen Datenmaterials auf ein darstellbares Maß reduzieren?“

bedeutet jedoch nicht, dass eine Diskussion wissenschaftlicher Standards für ein konkretes Forschungsprojekt abgelehnt wird.

Der mangelnde Konsens bezüglich qualitätssichernder Maßnahmen für qualitative Forschung in der Methodenliteratur spiegelt sich auch in der Empirie wider. Ein Überblicksbeitrag von 50 naturwissenschaftsdidaktischen Forschungsprojekten aus den Jahren 1997 bis 2018, die die qualitative Inhaltsanalyse als Auswerteverfahren verwenden, illustriert, dass eine Vielfalt an unterschiedlichen Gütekriterien und entsprechende Maßnahmen der Qualitätssicherung in den verschiedenen Studien angewendet werden (Göhner & Krell, 2020). Weiterhin nimmt demzufolge die Anzahl der beschriebenen Maßnahmen in den Studien mit der Zeit signifikant und mit großem Effekt zu, was für vermehrte Bemühungen einer umfassenden Qualitätssicherung spricht. Insgesamt dominieren die Gütekriterien *Objektivität*, *Reliabilität* und *Validität* (Göhner & Krell, 2020).

7.3.1.2. Diskussion der verschiedenen Ansätze

Es folgt eine kritische Auseinandersetzung mit den verschiedenen Standpunkten und vorgestellten Katalogen, um eine Arbeitslösung für die Qualitätssicherung der vorliegenden Untersuchung zu finden. Wie bereits bei der Beschreibung der verschiedenen Kataloge zu Gütekriterien der qualitativen Forschung anklang, ist ein zentraler Kritikpunkt für den Transfer klassischer Gütekriterien, also Standpunkt (1), dass die damit einhergehende Standardisierung den Grundzügen der qualitativen Forschung widerspricht (Flick, 2014).⁷⁰ Denn die

„Unmöglichkeit von Objektivität ist ja nicht ein Mangel, sondern Ausgangspunkt qualitativer Forschung, daher kann es nicht um anzustrebende *Objektivität* gehen, sondern um einen anzustrebenden *angemessenen Umgang mit Subjektivität*“ (Helfferich, 2011, 155, Hervorhebungen übernommen).

Objektivität wird daher für qualitative Erhebungsinstrumente häufig mit Intersubjektivität gleichgesetzt (Bortz & Döring, 2006). Die Betrachtung der Objektivität in Bezug auf die Datenauswertung wird hingegen seltener kritisch diskutiert.

Weiterhin führen Helfferich (2011) und Flick (2014) als Kritikpunkt an, dass eine reliable Erhebung für qualitative Forschungsprojekte nicht ohne Einschränkungen realisierbar sei, weil bspw. der Anspruch einer Re-Test-Reliabilität auf Interviews nicht übertragbar sei. Sie lassen allerdings au-

⁷⁰Dabei bleiben Kritiker*innen allerdings teilweise eine Antwort darauf schuldig, wie eine gelingende Qualitätssicherung für qualitative Forschungsprojekte aussehen kann, wie bspw. Reichertz (2019, 11): „[Es] geht nicht darum, ob Katzen grau, rot, quantitativ, qualitativ oder interpretativ arbeiten, es geht allein darum, ob Methoden Mäuse fangen, also fruchtbare Ergebnisse produzieren. Das allein zählt.“

beracht, dass dies ebenso auf etliche quantitative Erhebungsmethoden etwa aufgrund von Erinnerungseffekten oder Lernzuwächsen infolge von *time on task* zutrifft.⁷¹ Es sollte stattdessen also vielmehr hinterfragt werden, ob die Antworten von Befragten in Interviews als glaubwürdig einzustufen sind. Hier werden die von Miles und Hubermann (1994) sowie von Kuckartz (2018) aufgezeigten Parallelen zwischen der Reliabilität und den Kriterien *Glaubwürdigkeit* und *Zuverlässigkeit* deutlich. Kuckartz (2019) kritisiert indes nicht das Konzept der Reliabilität, sondern die aus der quantitativen Forschung übertragenen Verfahren zur Überprüfung der Reliabilität. Insbesondere die Festlegung von Grenzwerten der Übereinstimmung verschiedener Beurteiler*innen ist schwer zu begründen (Kuckartz, 2019; Göhner & Krell, 2020). Nichtsdestotrotz wird die Prüfung der Interrater-Übereinstimmung in naturwissenschaftsdidaktischen Forschungsprojekten mit der qualitativen Inhaltsanalyse als Auswerteverfahren sehr häufig durchgeführt (Göhner & Krell, 2020).

Die Übertragbarkeit der Validität als Gütekriterium wird im Gegensatz zur Objektivität und Reliabilität seltener in Methodenhandbüchern infrage gestellt (Schreier, 2012). Weiterhin identifizieren Göhner und Krell (2020) sie in ihrem Überblicksbeitrag als das am häufigsten beschriebene Gütekriterium.

Insgesamt unterliegt die Umsetzung von Standpunkt (1) dem Vorwurf einer Reduktion der Qualität auf die Formulierung und Anwendung von Kriterien durch „ein eher eng *fokussiertes, gleichzeitig aber generalistisches Konzept*“ (Flick, 2014, 411, Hervorhebungen übernommen), wobei sich „generalistisch“ auf die breite Anwendung für sowohl quantitative als auch qualitative Forschungsarbeiten bezieht. In diesem Zusammenhang warnt Reichertz (2019) vor einer „Methodenpolizei“, die darauf achte, dass Forschung „ordentlich“ betrieben werde. Die Realisierung wissenschaftlicher Standards erweist sich allerdings auch in der quantitativen Forschung als schwierig (Lienert & Raatz, 1998; Kane, 2013).⁷² Daraus wird ersichtlich, dass die klassischen Gütekriterien auch in der quantitativen Forschung keine „Goldstandards“ darstellen. In diesem Kontext stellt sich daher auch die Frage,

⁷¹Allgemein kann konstatiert werden, dass die Datenerhebung immer einen Eingriff in den Forschungsgegenstand bedeutet, was oftmals zu einer Veränderung der Sachlage führt (vgl. Mayring, 2002) – dies gilt sowohl für qualitative als auch für quantitative Untersuchungen.

⁷²Zu nennen sind hier bspw. das sogenannte Reliabilitäts-Validitäts-Dilemma (Lienert & Raatz, 1998) oder die *replication crisis* (Open Science Collaboration, 2015). Insbesondere der Umfang und der Anspruch des Validierungsprozesses ist umstritten (Kane, 2001; 2013; Rabe, Meinhard & Krey, 2018). Z.B. birgt die Validierung neu entwickelter Instrumenten in einem bislang wenig erforschten Themenfeld durch den Vergleich mit externen Kriterien die Gefahr von Zirkelschlüssen, dem sogenannten *confirmationist bias* (Messick, 1994; Mayring, 2002; Kane, 2001; 2013).

„ob Kriterien idealtypische Maximalanforderungen repräsentieren sollen, von denen aus dann nur die Abweichung nach unten erkennbar wird (als „unobtainable gold standard“, vgl. Morse et al. 2002: 15), oder aber, ob lediglich Minimalwerte festgelegt werden müssen“ (Eisewicht & Grenz, 2018, 367).

Die Kritiker*innen von Standpunkt (1) kritisieren bei der Übertragbarkeit oftmals die erste Position, welche aber für quantitative Projekte in der Regel ebenfalls so nicht haltbar ist.

Überdies liegt der zu Standpunkt (1) vorgebrachten Kritik häufig eine veraltete Auffassung von Validität zugrunde (z.B. Flick, 2014; Strübing et al., 2018; Kuckartz, 2018, 2019; Reichertz, 2019), welche sich ausschließlich auf die Testtheorie bezieht. In einem modernen Validitätsverständnis nach Messick (1994) und Kane (2001; 2013) wird der Begriff *Messung* nicht ausschließlich auf psychometrische Verfahren beschränkt, sondern explizit auch auf qualitative Untersuchungen bezogen, wie an dem folgenden Zitat von Messick (1994, 2) deutlich wird:

„Thus, the term “score” is used generically here in its broadest sense to mean any coding or summarization of observed consistencies of performance regularities on a test, questionnaire, observation procedure, or other assessment device such as work samples, portfolios, and realistic problem simulations. This general usage subsumes qualitative as well as quantitative summaries.”

Es handelt sich um eine argumentbasierte Auffassung von Validität, bei welcher theoretische Argumente, Plausibilitäten, empirische Belege sowie die Abwägung von Einschränkungen und Grenzen im Validierungsprozess hinzugezogen werden. Aus diesem argumentbasierten Ansatz lässt sich kein Standardverfahren für Validierungsprozesse herleiten, da – je nachdem welche Art von Aussagen aus den Daten abgeleitet werden – Validierungsanstrengungen eingefordert werden müssen oder nicht (Kane, 2001). Die Erfüllung der Validität wird in verschiedene Ausprägungsgrade differenziert (Kane, 2013). Das kritisierte standardisierte Verfahren der Qualitätssicherung auf Grundlage der klassischen Gütekriterien kann daher als weit weniger standardisiert eingestuft werden, als dies von Kritiker*innen deklariert wird.

Zusammenfassend lässt sich bzgl. der Kritik an Standpunkt (1) festhalten, dass die angeführten Kritikpunkte auf die eingeschränkte Übertragbarkeit der klassischen Gütekriterien *Objektivität*, *Reliabilität* und *Validität* teilweise zutreffen. Nichtsdestotrotz wird aus dem Einbezug der Diskussion zu Gütekriterien in der quantitativen Forschung deutlich, dass auch dort keinesfalls von Routineverfahren der Überprüfung wissenschaftlicher Standards die Rede sein kann, sondern ebenfalls Schwierigkeiten in der Anwendung und Überprüfung der Gütekriterien vorliegen. Es handelt sich also vielmehr um eine Diskussion wissenschaftlicher Standards in der empirischen Forschung allgemein, weshalb die grundsätzliche Ablehnung klassischer Gütekriterien nicht

gerechtfertigt erscheint. Tatsächlich werden oftmals weniger die zugrundeliegenden Konzepte der klassischen Gütekriterien als die aus der quantitativen Forschung kommenden Verfahren bzw. Maßnahmen zur Überprüfung der Gütekriterien kritisiert.

Von den Anhänger*innen des zweiten Standpunkts, der Befürwortung der Spezifität von Gütekriterien für die qualitative Forschung, werden konkrete alternative Gütekriterien vorgeschlagen. Einen Vorschlag liefern Strübing et al. (2018). Dieser Katalog setzt sich aus den Kriterien *Gegenstandsangemessenheit*, *empirische Sättigung*, *textuelle Performanz* und *Originalität* zusammen, welche allerdings weniger als Qualitätsstandards für gewonnene Forschungsergebnisse, sondern vielmehr als Merkmale für gutes wissenschaftliches Arbeiten im Allgemeinen zu lesen sind (vgl. Eisewicht & Grenz, 2018).⁷³ Ferner lassen sich die von Strübing et al. (2018) vorgeschlagenen Kriterien teilweise nicht extern überprüfen – weshalb zu einer selbstreflexiven Haltung der Forscher*innen aufgerufen wird (vgl. Helfferich, 2011). Eisewicht und Grenz (2018) kritisieren, dass dadurch nicht ausreichend zwischen *Gütekriterien* und *Forschendenkompetenz* unterschieden wird. Gütekriterien sollten konsensfähig und standardisierbar sein, wohingegen Kompetenzen Forschungsentscheidungen und -handlungen prägen. Die Forderung einer selbstreflektierten Haltung ist gewiss berechtigt, aber es bleibt fragwürdig, inwiefern dadurch die Einhaltung wissenschaftlicher Standards gewährleistet werden kann. Das Kriterium *Originalität* sollte darüber hinaus explizit hinterfragt werden, da durch die von Strübing et al. (2018) vorgenommene Formulierung Replikationsstudien als wissenschaftlich nicht hochwertig einzuordnen wären (vgl. Eisewicht & Grenz, 2018).

Einen weiteren alternativen Vorschlag bilden die von Flick (2014) formulierten Kriterien *Transparenz*, *Dokumentation* und *intersubjektive Nachvollziehbarkeit*. Dieser Katalog wirkt jedoch recht niederschwellig, da ein Forschungsprojekt bspw. ausgezeichnet dokumentiert sowie gut nachvollziehbar sein kann und dennoch so gravierenden Einschränkungen unterliegen kann, dass die Aussagekraft der gewonnenen Ergebnisse erheblich beeinträchtigt ist. Die Ergänzung der zusätzlichen Kriterien *Glaubwürdigkeit* und *Auditierbarkeit* kann jedoch dieser Problematik entgegenwirken (Kuckartz, 2018). Kuckartz (2018) bleibt jedoch in seinen Ausführungen eine klare Abgrenzung der Auditierbarkeit von der intersubjektiven Nachvollziehbarkeit schuldig. Außerdem stellt sich die Frage, ab wann Ergebnisse als nicht mehr intersub-

⁷³Eine ausführliche Kritik an dem Katalog von Strübing et al. (2018) ist bei Eisewicht und Grenz (2018) nachzulesen. Die zentralen Kritikpunkte bestehen darin, (a) dass Strübing et al. (2018) die eigenen fünf Gütekriterien nicht aus dem bisherigen Forschungsstand herleiten, (b) dass bereits bekannte Probleme allgemeingültiger Gütekriterien für die qualitative Forschung nicht reflektiert werden und (c) dass ungeklärt bleibt, wie die Güte der fünf vorgeschlagenen Kriterien festgestellt werden kann.

ektiv nachvollziehbar, glaubwürdig oder auditierbar einzustufen sind. Diese Schwierigkeit der Grenzziehung kann als derzeitiges Desiderat der bisherigen Debatte in der qualitativen Forschung bezeichnet werden (vgl. Flick, 2014). Es ist allerdings bezeichnend, dass ganz ähnliche Aspekte auch in der quantitativen Forschung diskutiert werden (Kane, 2013; Rabe, Meinhard & Krey, 2018), obschon in der quantitativen Forschung bspw. durch die klare Festlegung von Kennwerten bzw. Richtwerten die Problematik der Grenzziehung teilweise weniger offensichtlich erscheint.

Weiterhin fällt auf, dass die vorgeschlagenen Gütekriterien *Transparenz*, *Dokumentation* und *Auditierbarkeit* auf ähnliche Gesichtspunkte wie die zuvor vorgestellten Kriterien *Objektivität* und *Reliabilität* sowie *intersubjektive Nachvollziehbarkeit* und *Glaubwürdigkeit* wie Validität abzielen (vgl. Miles & Hubermann, 1994; Tabelle 7.4). Auch bei einem Vergleich mit der von Kuckartz (2018) aufgestellten Checkliste für die Überprüfung der internen Studiengüte und den oben genannten Fragestellungen zur internen Validität wird deutlich, dass es sich um ähnliche Operationalisierungen trotz unterschiedlicher Terminologie und vermehrter Betonung prozeduraler Aspekte des Forschungsprozesses handelt.⁷⁴ Ebenso kann Helfferichs Forderung (2011) nach einer reflektierten Subjektivität in Teilen der internen Validität zugeordnet werden, da sie darunter die Offenheit für alternative Deutungen fasst. Die Gegenstandsangemessenheit und empirische Sättigung können wiederum als zentrale Voraussetzung für die Validität angesehen werden.

Nach dieser exemplarischen Betrachtung verschiedener alternativer Vorschläge stellt sich die Frage, weshalb die verschiedenen alternativen Kataloge exklusiv als Gütekriterien für qualitative Forschung deklariert werden. Denn es ist schwer zu bestreiten, dass die Forderung nach Transparenz, Gegenstandsangemessenheit, intersubjektiver Nachvollziehbarkeit, textueller Performanz etc. ebenso für quantitative Forschungsprojekte gelten sollte (vgl. Mayring, 2002). Es können sogar viele Parallelen in den Operationalisierungen klassischer und alternativer Gütekriterien identifiziert werden, weshalb Miles und Hubermann (1994) sich für eine Verbindung der verschiedenen Gütekriterien bzw. für die gegenseitige Ergänzung aussprechen (vgl. Kuckartz, 2018). Zweifelsohne ist bspw. auf eine transparente Beschreibung des methodischen Vorgehens bei einer qualitativen Studie größerer Wert zu legen, da bei quantitativen Ansätzen hierfür oftmals die Nennung eines Verfahrens ausreichend ist. Dennoch wirken die vorgeschlagenen Kataloge für Gütekriterien der qualitativen Forschung unspezifisch bzw. allgemeingültig. Möglicherweise ist eine klare Trennung von quantitativer und qualitativer Forschung nicht immer zielführend.⁷⁵ Allerdings wirkt die Forderung nach

⁷⁴Nachzulesen bei Kuckartz (2018, 204f.).

⁷⁵Dazu sollte weiterhin angemerkt werden, dass nicht immer trennscharf zwischen quantitativer und qualitativer Forschung unterschieden werden kann, da es an vielen Stellen

einem vermehrt argumentativen Vorgehen als qualitätssichernde Maßnahme für qualitative Forschungsvorhaben plausibel (vgl. Mayring, 2002; Göhner & Krell, 2020). Ähnlich fordert es Kane (2013) in seinem argumentbasierten Validitätsansatz für die empirische Forschung im Allgemeinen.

An der Ablehnung von Gütekriterien für die qualitative Forschung, Standpunkt (3), wird kritisiert, „dass qualitativ Forschen nicht der ‚Freifahrtschein‘ für ein ‚Anything Goes‘ sein darf“ (Eisewicht & Grenz, 2018, 371) oder in „wildes Deuten“ (Bortz & Döring, 2006, 334) ausarten darf. Die Weigerung einer Festlegung einheitlicher wissenschaftlicher Standards fördert jedoch vermutlich solche Vorbehalte. Da sich dieser Standpunkt allerdings auf die qualitative Forschung im Allgemeinen und nicht auf einzelne Forschungsprojekte bezieht, wird darauf nicht weiter eingegangen, da nicht der Anspruch erhoben wird, eine allgemeingültige Lösung zu finden.

Aus dieser Gegenüberstellung der verschiedenen Ansätze zum Umgang mit Gütekriterien für die qualitative Forschung wird deutlich, dass zwischen Glaubenssätzen bzw. wissenschaftlichen Grundannahmen, Terminologien sowie Operationalisierungen bzw. Verfahren der Umsetzung unterschieden werden muss (vgl. Treagust, Won, & Duit, 2014; Eisewicht & Grenz, 2018; Kuckartz, 2018). Es ist bemerkenswert, dass trotz unterschiedlicher Forschungsparadigmen und Terminologien verschiedene Autor*innen ähnliche Operationalisierungen sowie Schwierigkeiten in der Anwendung wissenschaftlicher Standards konkludieren.⁷⁶ Flick (2014, 412), der ein Vertreter von Standpunkt (2) ist, schreibt, die

„Fragen, mit denen sich die Grundbedeutung von Reliabilität, Validität und Objektivität [...] umschreiben lässt, stellen sich für jede Untersuchung. Die generellen Ansprüche, die hinter solchen Fragen stehen, sollten auch für qualitative Forschung erfüllt sein.“

Allerdings erscheint es trotz der identifizierten Parallelen schwierig, einen allgemeingültigen Kriterienkatalog zu formulieren.

7.3.1.3. Folgerungen für die vorliegende Arbeit

Wie wird nun in der vorliegenden Arbeit mit der bestehenden Debatte zu Gütekriterien in der qualitativen Forschung umgegangen, um eine zufriedenstel-

Überschneidungen oder Gemeinsamkeiten gibt. Es sollte vielmehr von einem Kontinuum ohne klare Grenzen die Rede sein (Schreier, 2012; Oswald, 2013). Überdies wird *qualitative Forschung* als Sammelbegriff für alles, was nicht als quantitative Forschung gilt, verwendet, weshalb teilweise sehr unterschiedliche Verfahren zusammengefasst werden (Strübing et al., 2018).

⁷⁶Die Debatte zu Begrifflichkeiten der Gütekriterien führt letztendlich weg von den eigentlichen Inhalten hin zu einer Positionierung innerhalb der Forschungsgemeinschaft, sodass es dabei vielmehr um eine Demonstration von „Kommunikationsmacht“ bzw. „soziale[r] Macht“ (Reichertz, 2019, 5) geht.

lende Arbeitslösung für die Qualitätsüberprüfung und -sicherung des vorliegenden Forschungsprojektes zu finden? Die Gemeinsamkeiten in den Operationalisierungen (bei teilweise unterschiedlicher Terminologie) verschiedener Autor*innen teilen sich in inhaltliche Kriterien und Maßnahmen der Qualitätssicherung auf (vgl. Göhner & Krell, 2020). Die inhaltlichen Kriterien umfassen Aspekte der intersubjektiven Nachvollziehbarkeit, des interpersonellen Konsenses des Forschungsergebnisses, der Aufdeckung von Widersprüchen sowie der darauf aufbauenden Plausibilität der Interpretation und der final angestrebten Verallgemeinerbarkeit der Erkenntnisse. Für das Erreichen dieser Kriterien werden mögliche Maßnahmen wie Regelgeleitetheit, Transparenz, Verfahrensdokumentation, kommunikative Validierung und Triangulation angeführt.

Gleichwohl lässt sich aus der Debatte schließen, dass eine Ableitung eines einheitlichen Standardverfahrens nach dem jetzigen Stand (und möglicherweise aufgrund der Diversität von Forschungsprojekten grundsätzlich) nicht realisierbar ist (vgl. Flick, 2014). Stattdessen müssen die angelegten wissenschaftlichen Standards für jedes Forschungsvorhaben neu verhandelt werden (vgl. Eisewicht & Grenz, 2018). Zu diesem Zweck müssen überzeugende Argumente angeführt werden, aus denen hervorgeht, dass die Interpretation der Forschungsergebnisse plausibel, sinnvoll und angemessen ist. Ein vermehrt argumentatives Vorgehen für die Qualitätssicherung insbesondere bei qualitativen Untersuchungen wird z.B. von Mayring (2002), Schreier (2012), Kuckartz (2018) sowie Göhner und Krell (2020) befürwortet, wie es auch alternative Kriterien wie Verfahrensdokumentation, Transparenz oder intersubjektive Nachvollziehbarkeit nahelegen. Aus diesem Grund erscheint es zielführend, den argumentbasierten Validierungsansatz nach Kane (2001; 2013) und den Vorarbeiten Messicks (1994) als Verfahren der Qualitätssicherung für die vorliegende Forschungsarbeit zu verfolgen (vgl. Göhner & Krell, 2020). Der Grundgedanke dieses argumentbasierten Ansatzes besteht darin, dass

„[t]he interpretive argument involves a network of inferences and assumptions leading from the observed scores to the conclusions and decisions based on the observed scores, and provides an explicit and fairly detailed statement of the proposed interpretation“ (Kane, 2001, 339).

In Anlehnung an Kane (2001) sind für diesen Ansatz die folgenden Aspekte bedeutsam. (a) Die Validierung beinhaltet eine Beurteilung der Plausibilität der Interpretation und des Gebrauches der Forschungsergebnisse und ist somit keine Eigenschaft des Verfahrens. (b) Die aufgestellte Interpretation wird durch eine ausführliche Analyse der Annahmen und Schlussfolgerungen unter Einbezug möglicher alternativer Interpretationen durchgeführt. Sie wird sowohl durch empirische Belege als auch theoretische Argumente

gestützt, wobei das Ziel der Validierung folgendermaßen zusammengefasst werden kann: „The job of validation is not to support an interpretation, but to find out what might be wrong with it“ (Cronbach, 1980, 30). Auf dieser Basis kann eine Ausprägung der Adäquatheit und Angemessenheit der Interpretation angegeben werden. (c) Dieser Ansatz führt die verschiedenen Formen der Validierung (Inhaltsvalidität, Kriteriumsvalidität, Konstruktvalidität) zu einem *unified model* zusammen, da für die Güte der Interpretation der Forschungsergebnisse verschiedene Validitätsargumente benötigt werden (Kane, 2001). Es geht dabei nicht um „simply a collection of techniques or tools“ (Kane, 2001, 329). Dieser Validitätsansatz wird ebenfalls von den *Standards for Educational and Psychological Testing* (AERA, 2014) vertreten.

Dieses Vorgehen bietet eine gute Möglichkeit, die verschiedenen Ansätzen zu Gütekriterien in der qualitativen Forschung zusammenzuführen. Die Operationalisierungen, welche aus den klassischen Gütekriterien folgen, werden nicht übergangen,⁷⁷ dennoch kann der prozedurale Charakter qualitativer Forschung berücksichtigt werden. Das bedeutet, dass das Zusammenspiel mehrerer Maßnahmen der Qualitätssicherung sowie deren umfassende qualitative Beschreibungen an Bedeutung gewinnen. Ein argumentbasierter Validitätsansatz kann folglich die verschiedenen Kataloge für Gütekriterien der qualitativen Forschung verbinden, da eine gemeinsame Betrachtung relevanter Argumente erfolgt. Aus diesem Grund könnte dieser Ansatz auch für die qualitative Forschung als *unified model* bezeichnet werden.

7.3.2. Validitätsargumente für die Qualitätssicherung

Kane (2013) unterscheidet grundsätzlich zwischen (a) *scoring inferences*, also inwiefern die beobachteten Handlungen oder Äußerungen der Probanden angemessen in den Daten abgebildet werden, (b) *generalization inferences*, also inwiefern die Interpretation der Daten verallgemeinert werden bzw. Vorhersagen über die Zeit für die Stichprobe liefern kann, und (c) *extrapolation inferences*, also inwiefern die Interpretation auf weitere Domänen übertragen werden kann. Bei der Diskussion der Validitätsargumente für die vorliegende Studie werden diese drei Bereiche betrachtet.

Aus dem bisherigen Forschungsstand zum Nutzungsverhalten materialgestützter Unterrichtskonzeptionen durch Lehrkräfte konnten keine dezidierten Hypothesen als mögliche Validitätsannahmen abgeleitet werden, da dieser unsystematisch und teilweise widersprüchlich ist. Stattdessen werden für die Formulierung der Validitätsannahmen Fragen oder Operationalisierungen

⁷⁷Kane (2013) stellt allerdings keine Richtlinien auf, wie die Objektivität und Reliabilität betrachtet werden sollen – da sie notwendige, aber nicht unbedingt hinreichende Bedingungen für die Validität darstellen.

gen aus den zuvor vorgestellten Katalogen zu Gütekriterien qualitativer Forschung, welche als relevant für den Untersuchungsgegenstand oder das verwendete Forschungsdesign erachtet werden, als Orientierung verwendet.⁷⁸

Darüber hinaus wird zwischen Validitätsannahmen in Hinblick auf das Forschungsdesign, die Datenerhebung, die Datenauswertung und die Dateninterpretation differenziert. In der qualitativen Inhaltsanalyse findet zwar keine strikte Trennung von Erhebung, Auswertung und Interpretation statt; eine separate Betrachtung erscheint vielmehr aus Gründen der Strukturierung und Nachvollziehbarkeit der Argumentation sinnvoll (vgl. Krebs & Menold, 2014). Zudem können durch diese Aufteilung Aspekte der internen Validität (Erhebung, Auswertung und Interpretation) und der externen Validität (Forschungsdesign) systematisch verhandelt werden (Kuckartz, 2018). Um die Plausibilität der Interpretation der Forschungsergebnisse zu belegen, werden daher die folgenden elf Validitätsannahmen aufgestellt (vgl. Rabe, Meinhard & Krey, 2018).

Für die Datenerhebung ist sicherzustellen, dass...

- (1) ... ein geeignetes Forschungsdesign gewählt wird, welches sowohl die kognitiven Merkmale einer Lehrperson als auch ihre Handlungspraxis in Bezug auf die Materialnutzung erfasst (Verfahrensdokumentation, Gegenstandsangemessenheit).
- (2) ... die Zusammensetzung und der Umfang der Stichprobe eine Generalisierung der Erkenntnisse ermöglichen (externe Validität).
- (3) ... die Erhebung unter authentischen Rahmenbedingungen stattfindet und nicht dem Einfluss sozialer Erwünschtheit unterliegt (Glaubwürdigkeit, Zuverlässigkeit/Reliabilität, interne Validität).
- (4) ... die in den Interviews formulierten Fragestellungen im Sinne der zugrundeliegenden theoretischen Rahmung die zentralen Einflussfaktoren der Materialnutzung angemessen abbilden und von den befragten Personen auch diesbezüglich verstanden werden (Gegenstandsangemessenheit, Transparenz, intersubjektive Nachvollziehbarkeit).
- (5) ... die erhobenen Daten für die verschiedenen Fälle vergleichbar sind (Durchführungsobjektivität).

Weiterhin wird für die Datenauswertung verlangt, dass...

- (6) ... die Auswertekategorien Einflussgrößen der Nutzung und Implementierung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen, die aus der

⁷⁸Besonders hilfreich sind diesbezüglich die „Fragelisten“ bei Miles und Hubermann (1994), Schreier (2012) sowie Kuckartz (2018).

theoretischen Rahmung sowie aus dem Datenmaterial kommen, angemessen abbilden (Gegenstandsangemessenheit, intersubjektive Nachvollziehbarkeit, Auditierbarkeit).

- (7) ... die Auswertung der Daten konsistent und zuverlässig ist (Auswertobjektivität, Transparenz, Zuverlässigkeit/Reliabilität).

Für die weitere Interpretation der Daten muss sichergestellt werden, dass...

- (8) ... das Zusammenspiel der verschiedenen Wirkfaktoren der Materialnutzung systematisch und regelgeleitet rekonstruiert wird (Transparenz, intersubjektive Nachvollziehbarkeit, Auditierbarkeit).

- (9) ... alternative Interpretationen oder Erklärungsansätze einbezogen werden (Transparenz, intersubjektive Nachvollziehbarkeit, Auditierbarkeit, interne Validität).

- (10) ... Widersprüche oder Inkonsistenzen plausibel aufgeklärt werden (intersubjektive Nachvollziehbarkeit, Auditierbarkeit, interne Validität).

Vorausgesetzt, dass sich diese Annahmen als belastbar erweisen, muss darüber hinaus geprüft werden, dass ...

- (11) ... die gewonnenen Erkenntnisse sich im Sinne bestehender theoretischer und empirischer Erkenntnisse plausibel einordnen lassen (intersubjektive Nachvollziehbarkeit, Auditierbarkeit, interne Validität).

Im Folgenden werden Argumente für die Unterstützung dieser Validitätsannahmen diskutiert und auf Limitationen der Studie hingewiesen.

Wahl des Forschungsdesigns

Die Anlage des Forschungsprojekts wurde ausführlich in Unterkapitel 5.1 beschrieben, weshalb hier lediglich die daraus resultierenden Konsequenzen in Bezug auf die Qualität der vorliegenden Studie diskutiert werden. Der Fallstudien-Ansatz kann in diesem bislang wenig systematisch erforschten Forschungsgebiet für die Gewinnung explorativer Erkenntnisse zur Ableitung von Hypothesen als zielführend eingestuft werden. Des Weiteren bietet das Format der Feldstudie als Forschungsdesign günstige Ausgangsvoraussetzungen für die Erfassung des Nutzungsverhalten materialgestützter Unterrichtskonzeptionen durch Lehrkräfte unter Alltagsbedingungen, wenngleich dadurch nur wenige Variablen kontrolliert werden können. Dies stellt allerdings aufgrund des explorativen Charakters der Untersuchung keinen Mangel dar. Darüber hinaus sind die Voraussetzungen durch die Bereitstellung des Unterrichtskonzepts MILQ mit der Auseinandersetzung von *open educational*

resources vergleichbar, welche von Wissenschaftler*innen als gängige Implementationsstrategie von fachdidaktisch innovativen Unterrichtskonzeptionen genutzt wird (vgl. Unterkapitel 3.3).

Die gewählten Erhebungsinstrumente konnten sich bereits in vorangehenden Studien zu ähnlichen Forschungsfragen bewähren (Remillard, 1999; Schneider & Krajcik, 2002; Collopy, 2003; Drake & Sherin, 2006; Roehrig, Kruse & Kern, 2007; Vos et al., 2011; Charalambous & Hill, 2012; Bismack et al., 2015; Davis et al., 2017; Pringle, Mesa & Haynes, 2017). Ferner fand eine begründete Abwägung mit alternativen Erhebungsinstrumenten statt (vgl. Unterkapitel 5.1), weshalb die Methodenauswahl als gegenstandsangemessen bezeichnet werden kann. Durch die Wahl der verschiedenen Erhebungsinstrumente wird eine methodologische und zeitliche Triangulation erreicht (Flick, 2014; Kuckartz, 2018), welche die subjektiven Selbstauskünfte der teilnehmenden Lehrkräfte mit einer objektiven Perspektive auf die Unterrichtspraxis durch die Unterrichtsvideographie und die eingesetzten Materialien über mehrere Wochen verbindet. Durch die Kombination von Interviews und Unterrichtsvideographie können tiefgehende und nicht nur rein deskriptive Befunde gewonnen werden (Roehrig, Kruse & Kern, 2007; Brückmann & Duit, 2014). Dies erhöht zum einen die Aussagekraft der Erkenntnisse und zeigt zum anderen deren Vielschichtigkeit und Facettenreichtum auf (Flick, 2014).

Die verschiedenen Interviewformate können die Handlungspraktiken und die für die Studie relevanten kognitiven Merkmale der Lehrperson erfassen, wobei bei der Erhebung handlungsleitender Kognitionen (von Lehrkräften) grundsätzliche methodische Schwierigkeiten bestehen, welche zum Teil in der Selbsteinschätzung der Lehrperson, in der retrospektiven Erfassung und in der Notwendigkeit der Verbalisierung bestehen (vgl. Leuchter, 2009). Diese Schwierigkeiten lassen sich nicht abschließend auflösen, aber insbesondere der Einsatz der *stimulated recalls* stellt eine geeignete Maßnahme dar, um eine größere Handlungsnahe aufzubauen und durch gezieltes Nachfragen automatisierte Prozeduren aufzudecken (vgl. Abschnitt 2.2.3). Weiterhin bieten die Interviews die Möglichkeit, durch eine kommunikative Validierung sich die vorgenommene Interpretation der Äußerungen der Lehrkräfte bestätigen zu lassen (Flick, 2014; Kuckartz, 2018). Dies geschieht durch Rückfragen oder Paraphrasierungen während des Gespräches – besonders im Abschlussinterview, weil dort rückblickend von der Interviewerin das Vorgehen der Lehrperson in der Unterrichtsreihe zusammengefasst wird.

Zusätzlich wird in Unterkapitel 5.1 begründet, warum bestimmte Einflussfaktoren (Professionswissen, Schülerleistung, Unterrichtsqualität) in dieser Studie nicht erhoben werden – diese Einschränkung findet bei der Interpretation der Daten Berücksichtigung (vgl. Kapitel 8). Daher kann die Rahmung des Forschungsprojekts insgesamt als gegenstandsangemessen bezeich-

net werden, um in Abstimmung mit der Theorie, der Fragestellung und dem Forschungsdesign Erkenntnisse zu generieren.

Generalisierbarkeit der Erkenntnisse

Aufgrund des Fallstudie-Ansatzes handelt es sich bei den teilnehmenden Lehrkräften um eine kleine, nicht-repräsentative Stichprobe. Da allerdings das Ziel verfolgt wird, explorative Erkenntnisse in einem wenig erforschten Gebiet zu gewinnen, stellt dies zunächst kein Defizit dar. Nichtsdestoweniger besteht bei einer nicht-repräsentativen Stichprobe, nicht-standardisierten Methoden und hochinferenten Daten eine grundsätzliche Problematik in der Validierung. Gleichwohl können auch aus Einzelfällen Erkenntnisse allgemeiner Relevanz abgeleitet werden, weshalb vielmehr die Qualität der Daten und nicht die Anzahl der erhobenen Fälle entscheidend ist (Firestone, 1993; Petri, 2014). Die Durchführung weiterer Studien zur Untermauerung und genaueren Analyse der Erkenntnisse im Anschluss an diese Untersuchung ist allerdings zweifelsohne erforderlich.

Die teilnehmenden Lehrkräfte werden mittels *Theoretical Sampling* ausgewählt, was bedeutet, dass gezielt vor dem Hintergrund der theoretischen bzw. empirischen Erwartungen Lehrkräfte mit unterschiedlichen Voraussetzungen ausgewählt werden, um den Einfluss verschiedener Faktoren auf das Nutzungsverhalten materialgestützter Unterrichtskonzeptionen untersuchen zu können (vgl. Kapitel 6). Bspw. werden neben regulär ausgebildeten Lehrkräften Quereinsteiger ausgewählt, weil aufgrund der Unterschiede in der professionellen Ausbildung sich möglicherweise auch Unterschiede im Nutzungsverhalten zeigen könnten. In diesem Zusammenhang ist insbesondere die Einschätzung der fachdidaktischen Innovation von MILQ von besonderer Bedeutung. Darüber hinaus werden Lehrkräfte aus vier verschiedenen Bundesländern betrachtet, da aus zwei Schulbuchstudien (Merzlyn, 1994; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012) hervorgeht, dass eine wichtige Einflussgröße für die Verwendung des Schulbuches im Unterricht das Bundesland darstellt. Weitere Merkmale der Stichprobe sind in Kapitel 6 beschrieben. Überdies erfolgt die Datenerhebung, bis zum Erreichen einer empirischen Sättigung. Um dazu eine Einschätzung vornehmen zu können, werden die bislang erhobenen Fälle auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede hin untersucht. Trotz individueller Unterschiede und sehr unterschiedlicher Ausgangsvoraussetzung konnten auf übergeordneter Ebene große Ähnlichkeiten im Nutzungsverhalten der teilnehmenden Lehrkräfte beobachtet werden (das gilt sowohl für die Pilotierung als auch für die Haupterhebung). Daher kann von einer empirischen Sättigung ausgegangen werden.

Auf dieser Basis kann nach dem gewählten Grounded-Theory-Ansatz die Spezifität des Einzelfalls abstrahiert werden, sodass interindividuelle Hand-

lungsmuster abgeleitet werden können. Diese verallgemeinerungsfähigen Aussagen werden folglich „nicht über die Repräsentativität der Ergebnisse, sondern über das Typische“ (Haas & Scheibelhofer, 1998, 1) erreicht.

Es bestehen jedoch aufgrund der Anlage des Forschungsprojektes Einschränkungen durch den gewählten Kontext (Fach Physik, Thema Quantenphysik, Oberstufe) und wegen MILQ als Beispiel für eine empirisch fundierte fachdidaktisch innovative materialgestützte Unterrichtskonzeption, da sich diese in der Zusammenstellung, im Umfang, in der Gestaltung etc. sehr unterscheiden können (vgl. Kapitel 3). Dennoch bietet das Thema *Quantenphysik* eine günstige Ausgangsbasis für die Untersuchung der Implementierung fachdidaktischer Innovation in Schule, da es sich um ein fachlich anspruchsvolles Thema handelt und – zumindest in NRW, wo der Großteil der teilnehmenden Lehrkräfte unterrichtet – für den Grundkurs Physik wenige Jahre zuvor eine Lehrplanänderung vorgenommen wurde. Daher ist davon auszugehen, dass Lehrkräfte grundsätzlich einer Unterstützung durch Unterrichtsmaterialien aufgeschlossen gegenüberstehen (vgl. Möller, 2010). Da in Kapitel 8 gezeigt wird, dass die teilnehmenden Lehrkräfte MILQ als „Steinbruch“ nutzen und keine enge Orientierung an MILQ beobachtet wird, ist zu vermuten, dass dieses Verhalten bei weniger anspruchsvollen Themen noch stärker ausgeprägt sein dürfte. Insgesamt wird aus den Studienergebnissen zu folgern sein – gerade weil es sich um eine positiv verzerrte Stichprobe im Sinne von besonders aufgeschlossenen, engagierten bzw. betroffenen Lehrkräften handelt – wenn schon die teilnehmenden Lehrkräfte sich nur auf einer oberflächlichen Ebene mit MILQ auseinandersetzen, ihr Unterricht von MILQ nur marginal beeinflusst wird und der Großteil die Kernelemente des innovativen Charakters von MILQ nicht benennen (und damit vermutlich auch nicht erkennen), dass dies auf die Gesamtpopulation höchstwahrscheinlich umso mehr zutreffen wird (vgl. Kapitel 8).

Zusammenfassend kann gefolgert werden, dass trotz der Einschränkungen durch einen geringen Stichprobenumfang die Möglichkeit der Verallgemeinerung von Ergebnissen auf einer vorläufigen Basis besteht. Ziel ist die Identifikation von Verhaltensweisen und -mustern, es können aber keine Aussagen über deren Verteilung bzw. die Häufigkeit ihres Auftretens in anderen Kontexten getroffen werden (vgl. Firestone, 1993). Stattdessen kann die „Fall-zu-Fall-Übertragbarkeit“ nach Firestone (1993) als Verallgemeinerungsstrategie angewendet werden.⁷⁹

⁷⁹Firestone (1993) benennt die Verallgemeinerungsstrategien (a) von der Stichprobe auf die gesamte Population, (b) analytisch und theoriegebunden und (c) Fall-zu-Fall-Übertragbarkeit.

Authentische Rahmenbedingungen

Um die Authentizität der Daten zu gewährleisten, ist es wichtig, dass die teilnehmenden Lehrkräfte die Datenerhebung nicht als Eingriff in ihr gewohntes Vorgehen oder als Bewertungssituation wahrnehmen. Denn die Studie zielt genau darauf ab, den Implementationsprozess in einem alltagsnahen Setting zu untersuchen (vgl. Kapitel 4). Daher wird besonderer Wert darauf gelegt, den Lehrkräften gegenüber zu betonen, dass ihnen MILQ als Anregung zur Verfügung gestellt wird und eine Umsetzung keinesfalls implizit erwartet wird (vgl. Unterkapitel 5.1). Stattdessen wird den Lehrkräften verdeutlicht, dass für das verfolgte Studienziel eine ehrliche Einschätzung der Praxistauglichkeit von MILQ, Kritik und Verbesserungsvorschläge eingeschlossen, sehr wichtig ist. Dies ließ sich insofern gut realisieren, weil die Forscherin nicht zugleich Autorin von MILQ ist (vgl. Abschnitt 3.3.5).

In diesem Zusammenhang ist außerdem die Interviewführung und die Rollenverteilung zwischen der Interviewerin und den Befragten von zentraler Bedeutung (vgl. Abschnitt 5.3.1). Die Lehrkräfte werden in den Interviews als „Expert*innen“ für unterrichtspraktische Fragen behandelt, indem ihren Äußerungen eine wertschätzende Haltung entgegengebracht wird. Darüber hinaus wird eine vertrauensvolle Gesprächsatmosphäre aufgebaut, indem unverfängliche Fragen eher zu Beginn und kritische Fragen zum Ende der Interviews gestellt werden. Auf dieser Grundlage kann eine Lehrperson angeregt werden, von ihrem „wirklichen“ Vorgehen bei der alltäglichen Unterrichtsplanung und im Unterricht zu berichten sowie auch kritische Anmerkungen über MILQ zu äußern und zu konkretisieren.

Allerdings besteht insbesondere bei den *stimulated recalls* die Gefahr, dass Lehrkräfte versuchen könnten, ihre Handlungsweise nachträglich in ein „rechtes Licht“ zu rücken – vor allem, wenn die vorgespielten Videoprompts „kritische“ Unterrichtssituationen (wie etwa einen Bruch der Argumentationslogik) enthalten. Aus diesem Grund wird von der Interviewerin keine Wertung der Unterrichtssituation vorgenommen, sodass keine Rechtfertigung der befragten Lehrkräfte hervorgerufen wird. Es ist folglich von besonderer Bedeutung, dass die Interviewerin ihr Verhalten reflektiert, um die Antworten der befragten Lehrkräfte nicht unbewusst in eine bestimmte Richtung zu lenken, wie bspw. beim Pygmalion-Effekt, bei dem durch die Einschätzung der Interviewerin durch Rückmeldungen oder bestimmten Verhaltensweisen der befragten Person gegenüber diese beeinflusst wird und daraufhin tatsächlich erwartungskonform antwortet (Rosenthal, 2002).

In den Interviews lassen sich viele Hinweise finden, dass die befragten Lehrpersonen authentische und keine von ihnen als sozial erwünscht angenommenen Antworten gaben. Im Folgenden sind einige Beispiele aufgelistet.

- (1) I: „Und zwar würde mich interessieren, wie würden Sie Ihren Unterrichtsstil beschreiben?“
B: „Eher frontal, ja“ (Peters, I1, 83f.).
- (2) „Und dann ist es tatsächlich so, ich habe ausprobiert, was besser funktioniert bei den Schülern. Entweder ich gebe ihnen Materialien, die sie lesen und dass sie dann selber arbeiten, was auch häufig gemacht wird. Oder wenn wir es tatsächlich frontal als Unterrichtsgespräch machen. Und das Unterrichtsgespräch funktioniert meistens besser. Dass wir Lernerträge, -erfolge sind meistens besser, als wenn ich denen einfach nur Materialien gebe und jetzt sage, ihr erarbeitet euch das bitteschön selber. Weil [wenn] die dann in den Gruppen diskutieren, häufig um den heißen Brei reden und keiner auf den Plan kommt. Oder sich dann in der Diskussion fest-, eh Fehlvorstellungen entwickeln, die sich dann auch festsetzen“ (Schmidt, I1, 85).
- (3) I: „Wie würdest du so dein Vorgehen, wenn man das überhaupt jetzt so allgemein sagen kann, bei der Unterrichtsplanung beschreiben?“
B: „[...] Also ich mache, was ich nicht mehr so wirklich viel mache, ist so Planen einer langen Unterrichtsreihe. Weil, dazu habe ich dann doch auch schon so ein bisschen Erfahrung und kann auch so abschätzen, was kommt so wann dran und wie lange brauche ich ungefähr“ (Kruse, I1, 78).
- (4) Schneider unterrichtet beide Grundkurse im Fach Physik in der Q1 an ihrer Schule parallel und sagt über ihre Unterrichtsvorbereitung: „Und ich wusste jetzt nicht mehr, mit dem einen hatte ich es nämlich gemacht und mit dem anderen habe ich es nicht gemacht. Und ich hatte das aber, normalerweise schreibe ich mir das im Kursheft immer auf und da habe ich aber dann nur „Simulation“ stehen gehabt, also nicht mal welche. Und ich hatte mir das überhaupt nicht notiert. Und dann hatte ich gedacht, so ein Scheiß“ (Schneider, SR1, 32).
- (5) „Also sagen wir mal so, wenn es jetzt ein Unterrichtsbesuch gewesen wäre, so in einer Prüfung, dann darf man ja so etwas auf gar keinen Fall machen. Da musst du ja schon einsteigen mit irgendwie, mit einem Bild, mit so einem Text oder sonst irgendwie etwas. Also dann würdest du das ja so nicht machen. Aber ehm, ich finde so im normalen Schulleben, ja, weiß ich nicht, da gucke ich halt, wie, also entscheide ich so nach meinem Gefühl, was ich denke, was an dieser Stelle jetzt angemessen ist. Dann ist mir das auch ehrlich gesagt egal, wenn man das in der Prüfung, ob man das jetzt machen würde oder nicht machen würde. Wenn ich denke, das muss jetzt an der Stelle mal eben sein, dann mache ich das so“ (Schneider, SR1, 62).
- (6) „In einer Vorführstunde eines Referendars hätte man jetzt gesagt, pass mal auf, die Stunde (...) Es fehlte etwas. Du hättest denen in jeder Etappe den Schüler noch einmal eine Zusammenfassung geben lassen können. Eh du hättest klarmachen müssen, dass die Stunde mehrere Etappen hat, die nicht

unbedingt aufeinander bezogen sind. Das ist also ein Bruch, zwar geplant, einen Bruch gibt und so. War mir jetzt egal, ehrlich gesagt. Also ich sage es Ihnen ja jetzt hier, ne?“ (Krüger, SR2, 49)

Obschon diese Beispiele zweifellos nicht gewährleisten, dass sich alle befragten Personen zu jeder Frage offen und ehrlich äußern, liefern sie Indizien dafür, dass es prinzipiell gelungen ist, in den Interviews eine Gesprächsatmosphäre zu schaffen, die das authentische Beantworten von Fragen unterstützt.

Auch bei den videographierten Unterrichtsstunden soll es sich um möglichst authentische Unterrichtssituationen handeln. Allerdings kann durch das Videographieren sowohl das Handeln der Schüler*innen als auch das der Lehrperson beeinflusst werden. Zu ersterem werden die Lehrkräfte zu einer Einschätzung im darauf folgenden *stimulated recall* gebeten. Alle Lehrkräfte geben an, dass sich die Schüler*innen ähnlich wie im „normalen“ Unterricht verhalten haben und allenfalls in einigen wenigen Fällen die Beteiligung etwas geringer bzw. etwas höher ausfiel als gewohnt und weniger Unterrichtsstörungen in Form von Zwischengesprächen aufkamen. Dies wird nicht als kritisch gewertet, da in Bezug auf diese Änderungen kein direkter Zusammenhang auf die Implementierung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen vermutet wird und somit die Forschungsergebnisse dadurch höchstwahrscheinlich nicht verfälscht werden. Abweichungen im Verhalten der Lehrperson zum sonstigen Vorgehen können hingegen weniger gut eingeschätzt werden. Es besteht die Gefahr, dass ähnlich wie im Referendariat eine „besondere“ Unterrichtsstunde für die Videographie vorgeführt wird. Aus diesem Grund wird den Lehrkräften gegenüber im Vorfeld betont, dass sie während der Studie ihren Unterricht möglichst wie gewohnt durchführen sollen (was den zuvor vorgestellten Zitaten zufolge gelungen zu sein scheint). Allerdings besteht weiterhin die Schwierigkeit, dass die teilnehmenden Lehrkräfte in den videographierten Unterrichtsstunden mehr von MILQ implementieren, als sie ohne Beobachtung täten. Hinweise für ein solches Verhalten liefert eine Metastudie von 59 Studien zu Fortbildungsprogrammen an Schulen in den USA (DuBois, Holloway, Valentine & Cooper, 2002, zitiert nach Durlak & DuPre, 2008), die bis zu dreimal größere Effektstärken der Implementierung unter Beobachtung als ohne direkte Überwachung feststellten. Tatsächlich lassen sich dafür Anzeichen in den Interviews von zwei der teilnehmenden Lehrkräfte finden.

- „Das war für mich eine gewisse Ungewissheit. Wie jetzt die Stunde verläuft. Ich habe extra Frank [anonymisierter Name, Kameramann] da. Der fährt da extra her. Und wenn ich jetzt hätte improvisieren müssen, wär blöd gewesen. Und deswegen wollte ich also schnell zu dieser Simulation [aus MILQ] kommen“ (Krüger, SR1, 32).

- I: „Was war dir wichtig bei der Unterrichtsstunde?“
B: „Naja, es sind ja so zweierlei Dinge. Zum einen wollte ich ja, hab ich ja jetzt auch geguckt, ne. Was dich auch jetzt betrifft, was durch das neue Material [gemeint ist MILQ], was ich auch habe, einzusetzen. Und natürlich den Versuch einzusetzen. [...] Was hab ich mir überlegt? Ich habe dein Material [gemeint ist MILQ] im Prinzip gesichtet, habe dann überlegt, wie kann ich das einbauen. Das waren eben dieses zwei Arbeitsblätter sehr passend“ (Kruse, SR1, 5).

Folglich wird bei der Auswertung der Unterrichtsvideos die Umsetzung von MILQ im Vergleich zum unbeeinflussten Vorgehen einer Lehrperson eher etwas überschätzt. Ferner finden sich bei einigen Lehrkräften weitere Aussagen in den Interviews, die illustrieren, dass die Gestaltung der Unterrichtsstunde durch die Studie beeinflusst wurde.

- „Also was tatsächlich, aufgrund meiner Fachleitertätigkeit, dadurch, dass man tatsächlich weniger Zeit hat, ist schon einmal, dass man sich nicht so sehr viele Gedanken macht für Arbeitsblätter. Das habe ich jetzt einmal gemacht, wann - Sie kamen mit der Kamera, habe ich gedacht, okay //I: Da gebe ich mir mal Mühe. [lacht]// gebe ich mir mal richtig Mühe. Ja. Ehm. Das ist schon so, dass man dann //I: Straffer, ja.// etwas schneller die zusammensucht, ne? Also, ne? Klar, natürlich durchdenkt man das auch, aber man nimmt eher dann hin: Die Aufgabe ist nicht ganz passend, aber ich habe jetzt auch keine Zeit, die umzustricken. Ehm. Und packt sie dazu. Ich glaube, die Arbeitsblätter würden dann noch etwas mehr mit, auch mit mehr Liebe und auch zum Detail noch gemacht werden. Das bleibt ein bisschen auf der Strecke. Wobei ich hoffe, dass sie trotzdem noch so gut sind, die Arbeitsblätter, die ich mache, dass die halt bei den Schülern (unverständlich)“ (Janssen, I2, 32).
- „Also man nimmt sich, dadurch, dass halt einfach die Rahmenbedingungen (wirklich?) da sind, halt doch noch mehr Zeit an der Stelle, darüber nachzudenken. //I: Mh (bejahend). // Das ist jetzt, da ich ja auch weiß, wie, so ein bisschen weiß, was du erwartest und was das ist und dass da halt kein, dass das halt kein Unterrichtsbesuch ist, ist das halt jetzt nicht viel mehr- Aber es hat einfach schon mal noch einmal eine zusätzliche Reflexionsrunde noch einmal mehr, die man im Alltag sonst nicht hätte. //I: Klar, allein, dass wir da auch noch darüber sprechen. Ja.// Und da ändert sich halt manchmal etwas, manchmal ändert sich halt nichts, aber es ist halt einfach noch einmal eine zusätzliche- einfach eine, ein Schritt mehr, ein Schritt öfter, den man noch einmal wieder das sich durch den Kopf geht und wo man dann entweder sagt, ja, lassen wir so oder lassen, müssen, ändere ich doch noch einmal etwas“ (Meyer, I2, 79).

Zusammenfassend finden sich in den Interviews viele Indizien dafür, dass die befragten Lehrkräfte (zumeist) nicht sozial erwünscht antworten. Auch

bei den videographierten Unterrichtsstunden scheint es sich nach Angabe der Lehrkräfte in den meisten Fällen um authentische Unterrichtssituationen zu handeln. Allerdings finden sich ebenso auch Hinweise dafür, dass die vorliegende Studie in einigen Fällen die Handlungspraxis der Lehrkräfte beeinflusst. Solange die betreffenden Lehrkräfte dies in den Interviews benennen, kann diese Einschränkung bei der Ergebnisinterpretation berücksichtigt werden. Problematischer wäre es, wenn eine Lehrkraft angäbe, dass es sich um ihr typisches Verhalten handle, aber sowohl das Verhalten als auch die Auskunft sozial erwünscht ist. Das kann offenkundig nicht endgültig ausgeschlossen werden, allerdings verdeutlichen mehrere der zuvor angeführten Aussagen, dass die befragten Lehrkräfte in vielen Fällen sehr offen antworten, sodass insgesamt durchaus von authentischen Rahmenbedingungen der vorliegenden Untersuchung ausgegangen werden kann. Somit kann die ökologische Validität der Studie als hoch eingeschätzt werden.

Abbildung der theoretischen Rahmung in der Datenerhebung

Das Forschungsdesign ist auf Basis der verschiedenen Einflussfaktoren der Nutzung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen entwickelt worden (siehe Unterkapitel 5.1). Zur empirischen Erfassung der Einflussfaktoren auf Seiten der Lehrkräfte werden Interviews und Unterrichtsbeobachtungen durchgeführt. Für eine Charakterisierung von Einflussfaktoren von Materialien findet zum einen eine Materialanalyse von MILQ statt und zum anderen werden die im Unterricht eingesetzten Materialien gesammelt. Für die Interviews werden in Anlehnung an die theoretische Rahmung (Gregoire, 2003; Remillard, 2005) und empirische Erkenntnisse zur Materialnutzung (z.B. Vollstädt et al., 1999; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012; Davis et al., 2017) Interviewleitfäden entwickelt und strukturiert (vgl. Abschnitt 5.3.1). Es werden gezielt Items oder Fragestellungen aus vorangehenden Untersuchungen als Basis für die Formulierung von Leitfragen verwendet, welche in einer Pilotierung getestet und anschließend bei Bedarf überarbeitet wurden. Somit kann von einer ausreichenden Abbildung der theoretischen Rahmung in der Datenerhebung ausgegangen werden.

Vergleichbarkeit der Fälle

Bei nicht-standardisierten methodischen Verfahren bezieht sich die Forderung nach vergleichbaren Erhebungsbedingungen – anders als bei standardisierten Verfahren – auf „natürliche“ Standards und Routinen der Kommunikation (Soeffner, 2004). Durch die Forscherin als subjektive Einflussgröße ist strenggenommen eine objektive und reliable Erhebung in der vorliegenden Untersuchung nicht möglich. Stattdessen ist ein reflektierter Umgang mit der in Kauf genommenen „Subjektivität“ und damit einhergehend eine

Diskussion der Rolle der Interviewerin erforderlich (vgl. Abschnitt 5.3.1). Die Subjektivität der Interviewerin wird bewusst als Vorteil genutzt, indem basierend auf ihrem Vorwissen durch die vorbereitende Literaturrecherche gezielt Nachfragen im Interview gestellt werden können. Allerdings hält sich die Interviewerin bei offenen Fragen zunächst bewusst zurück, um nicht zu großen Einfluss auf die Gesprächsinhalte zu nehmen, da sonst die Gefahr besteht, dass keine neuen Erkenntnisse generiert, sondern lediglich bereits bekannte Forschungserkenntnisse reproduziert werden (vgl. Helfferich, 2011).

Darüber hinaus werden möglichst vergleichbare Rahmenbedingungen der Interviews für die verschiedenen Fälle geschaffen. Alle Interviews werden von derselben Person an einem ruhigen Ort möglichst ohne äußeren Einfluss geführt. Den Termin für das Interview schlägt die Lehrperson vor, sodass ausreichend Zeit für das Gespräch zur Verfügung steht. Der zeitliche Umfang eines Interviews beträgt maximal 105 Minuten, um die Konzentration der befragten Lehrperson nicht zu überstrapazieren. Dieser Umfang wird auch bei zwei direkt aufeinander folgenden Interviews nicht überschritten (häufig wurde im Anschluss an das zweite Stimulated-Recall-Interview direkt das Abschlussinterview geführt). Die zeitliche Differenz zwischen der Videographie einer Unterrichtsstunde und ihrer Nachbesprechung mittels *stimulated recall* sollte möglichst kurz sein, damit die Lehrperson sich noch an die konkreten Unterrichtssituationen erinnern kann (vgl. Abschnitt 2.2.3). Es wird sogar empfohlen, dass die betreffende Lehrperson in der Zwischenzeit die videographierte Klasse nicht erneut unterrichten soll (vgl. Leuchter, 2009). Dies ließ sich aus praktischen Gründen nicht realisieren; die durchschnittliche Zeitdifferenz beträgt 24 Tage, die maximale Differenz in einem Extremfall 89 Tage. In der Pilotierung zeigte sich tatsächlich, dass einige der teilnehmenden Lehrkräfte Schwierigkeiten hatten, sich an die jeweilige Unterrichtsstunde zurückzuerinnern – vor allem dann, wenn Schulferien dazwischenlagen. Für die Hauptstudie wurden daher neben den Videoprompts und den eingesetzten Materialien weiterhin auch Unterrichtsprotokolle als Stimuli verwendet, um sich zu Beginn eines Stimulated-Recall-Interviews den Stundenverlauf vor Augen zu führen. Angeregt durch diese verschiedenen Stimuli konnten sich die befragten Lehrpersonen in der Regel gut erneut in die jeweilige Unterrichtssituation hineinversetzen. Für das Abschlussinterview wurden als Stimulus die Einträge aus dem Kursbuch verwendet, sodass die Lehrkräfte den Verlauf der gesamten Unterrichtsreihe vorliegen hatten.

Ferner wird durch die einheitlichen Interviewleitfäden des Einstiegs- und des Abschlussinterviews sichergestellt, dass allen Probanden inhaltlich die gleichen Fragen gestellt werden. Die *stimulated recalls* sind etwas freier gestaltet und individuell auf die jeweilige Unterrichtssituation zugeschnitten, verfolgen aber ebenfalls für alle Fälle die gleichen Leitfragen und dieselbe Struktur (vgl. Abschnitt 5.3.1).

Wie bereits unter der Validitätsannahme 1) *Wahl des Forschungsdesigns* diskutiert, kann für die Unterrichtsvideographie aufgrund des Feldstudien-Designs nur eine eingeschränkte Standardisierung erreicht werden. Da jedoch die Erhebung individueller Verhaltensweisen und Handlungsmuster angestrebt wird, ist die geringe Standardisierung nicht als Nachteil anzusehen. Um allerdings ein Mindestmaß an Vergleichbarkeit zwischen den Fällen zu ermöglichen (vgl. Krebs & Menold, 2014), werden zwei Unterrichtsstunden zu den inhaltlich festgelegten Themen *Photonen als Quantenobjekte* und *Elektronen als Quantenobjekte* nach festgelegten Regeln (Filmmanual) videographiert (vgl. Abschnitt 5.3.2).

Die genannten Limitationen werden in die spätere Diskussion der Ergebnisse und deren Aussagekraft einbezogen (vgl. Miles & Hubermann, 1994; Krebs & Menold, 2014).

Abbildung zentraler Einflussgrößen in der Datenauswertung

Die zentralen Grundpfeiler der Datenauswertung stellen die kategorienbasierte Auswertung der Interviews mittels qualitativer Inhaltsanalyse und die Rekonstruktion des Nutzungsverhaltens von MILQ dar. Für die Entwicklung des Kategoriensystems für die Auswertung der Interviews werden einem Grounded-Theory-Ansatz folgend in iterativen Schritten die Phasen *Entwicklung*, *Überarbeitung* und *Anwendung* mehrmals während der Pilotierung, der Haupterhebung, der Trainingsphase zusätzlicher Beurteiler*innen und dem Prozess des Interratens durchlaufen (vgl. Unterkapitel 7.2). Die Hauptkategorien werden aus dem Interviewleitfaden des Einstiegsinterviews abgeleitet, welcher deduktiv aus dem bisherigen Forschungsstand konstruiert wurde (vgl. Abschnitt 5.3.1). Weiterhin werden die (Sub-)Kategorien durch ein deduktiv-induktives Vorgehen sowohl unter Berücksichtigung des bisherigen Forschungsstandes als auch unter Einbezug des Datenmaterials gebildet. Es wird in Abschnitt 5.3.1 darüber hinaus berichtet, welche Konstrukte aus untersuchungspraktischen Gründen bewusst nicht in die Interviewleitfäden aufgenommen und daher nicht im Kategoriensystem abgebildet werden (bspw. Vorstellungen über *nature of science*, Identität der Lehrperson etc.).

Weiterhin wird die Auswertung der Pilotierung genutzt, um die Güte des Kategoriensystems zu prüfen, indem untersucht wird, ob auf Grundlage der gewonnenen Ergebnisse die Forschungsfragen beantwortet werden können. So kann festgestellt werden, ob das Kategoriensystem in bestimmten Bereichen erweitert werden muss oder reduziert werden kann (Schreier, 2012). Außerdem können die Erwartungen und die Ergebnisse aus der Pilotierung im Sinne einer Inhaltsvalidierung der Kategorien auf struktureller Ebene verglichen werden. So kann überprüft werden, ob z.B. gegensätzliche Kategorien auch gegensätzlich auftreten oder ob Kategorien, deren Vorkommen nur

in bestimmten Phasen erwartet wird, auch nur dort auftreten. Andernfalls werden die betreffenden Kategorien für die Auswertung der Haupterhebung überarbeitet.

Das fertig entwickelte Kategoriensystem wurde darüber hinaus mittels *Peer Debriefing* (Steinke, 1999) mit verschiedenen Expert*innen der Physikdidaktik (AG Didaktik der Physik Universität Paderborn, AG Didaktik der Physik Justus-Liebig-Universität Gießen) und in einem Workshop zur qualitativen Inhaltsanalyse (unter Leitung von Prof. Dr. Udo Kuckartz) diskutiert und überarbeitet.

Die Rekonstruktion des Nutzungsverhaltens von MILQ wird auf der Basis des adaptierten *Cognitive-affective Model of Conceptual Change* (Gregoire, 2003) durchgeführt, weshalb eine explizite Orientierung an der theoretischen Rahmung stattfindet (vgl. Unterkapitel 8.5). Folglich werden dadurch theoretisch zu erwartende Einflussfaktoren in die Auswertung einbezogen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Konzepte der Forschungsfragen sowohl aus der theoretischen Rahmung als auch aus dem Datenmaterial kommend adäquat in der Datenauswertung repräsentiert werden.

Konsistente und zuverlässige Auswertung

Der Auswertung der Daten geht eine zweckdienliche Datenaufbereitung in Form einer Transkription der geführten Interviews voraus. Diese wird anhand festgelegter Regeln durchgeführt und durch eine zweite Person überprüft, um eine möglichst wortgetreue Wiedergabe des Gesagten und eine plausible Einteilung in Sinnabschnitte zu ermöglichen (vgl. Unterkapitel 7.1). Die Einteilung des Transkripts in Absätze legt die Codiereinheit für die lokal zu codierenden Kategorien fest und beeinflusst somit die Anzahl der vergebenen Codings.

Für die Validierung der weiteren Auswertung wird ein intersubjektiv-konsensuales Textverständnis angestrebt, sodass die Konstruktionen des Forschenden in den Konstruktionen des Beforschten begründet sind (Schreier, 2014; Kuckartz, 2018). Hierzu werden typischerweise (i) die Interrater-Reliabilität ermittelt, welche den Grad der Übereinstimmung der Urteile mehrerer Personen widerspiegelt, bzw. (ii) die Intrarater-Reliabilität, welche die zeitliche Stabilität des Urteils einer Person überprüft (Wirtz & Caspar, 2002; Kuckartz, 2018). Dazu wird erneut zwischen der kategorienbasierten Auswertung der Interviews mittels qualitativer Inhaltsanalyse und der Rekonstruktion des Nutzungsverhaltens von MILQ unterschieden.

Die kategorienbasierte Auswertung der Interviews setzt sich aus den Schritten (a) Kategorienbildung, (b) Codierprozess und (c) Auswerteprozess zusammen. Obschon die Entwicklung des Kategoriensystems (a) direkt vom Forschenden abhängt, stellt dies keine Einschränkung der Gültigkeit der

Auswertung dar. Denn es handelt sich bei der Kategorienbildung um einen aktiven Konstruktionsprozess, welcher theoretische Sensibilität, Kreativität und Vorwissen benötigt, weshalb nicht der Anspruch einer Übereinstimmung der von unterschiedlichen Personen entwickelten Kategoriensysteme besteht (Kuckartz, 2018). Stattdessen werden alternative qualitätssichernde Maßnahmen herangezogen, um eine angemessene Abbildung der Einflussgrößen der Nutzung und Implementierung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen aus der theoretischen Rahmung sowie aus dem Datenmaterial kommend zu gewährleisten, welche zuvor unter der Validitätsannahme *6) Abbildung zentraler Einflussgrößen in der Datenauswertung* vorgestellt wurden.

Für die Codierung der Interviews (b) werden sowohl die Interrater-Reliabilität als auch die Intrarater-Reliabilität bestimmt, um den interpersonellen Konsens der Codierung und die zeitliche Stabilität der Einschätzung und damit deren Zuverlässigkeit zu ermitteln (vgl. Schreier, 2012). Für die qualitative Inhaltsanalyse als Auswertemethode liegt kein einheitliches Verfahren vor, weder für die Ermittlung der Interrater-Reliabilität noch für die Ermittlung der Intrarater-Reliabilität (Schreier, 2012; Kuckartz, 2018; 2019).⁸⁰ Häufig verwendete Kennwerte für den Vergleich zweier Beurteiler*innen bzw. für den Vergleich zeitversetzter Codierungen derselben Person stellen die Prozentuale Übereinstimmung (PÜ) sowie Cohens Kappa dar (Wirtz & Caspar, 2002; Kuckartz, 2018). Die PÜ berechnet sich folgendermaßen:

$$P\ddot{U} = \frac{\text{Anzahl der Übereinstimmungen}}{\text{Anzahl der insgesamt beurteilten Objekte}}.$$

Cohens Kappa ist im Gegensatz dazu ein zufallskorrigiertes Maß, welches die erwartete Häufigkeit zufälliger Übereinstimmungen (P_e) berücksichtigt:⁸¹

$$\kappa = \frac{P\ddot{U} - P_e}{1 - P_e}.$$

Die PÜ überschätzt daher vermutlich die tatsächliche Übereinstimmung, wohingegen Cohens Kappa die tatsächliche Übereinstimmung tendenziell eher etwas unterschätzt (Schreier, 2012). Es stellt sich allerdings bei der Berechnung eines solchen Kennwerts insbesondere bei hochinferenten Daten bzw.

⁸⁰Das Fehlen von Standardverfahren zur Qualitätssicherung für die qualitative Inhaltsanalyse kann auf den mangelnden Konsens bezüglich der Debatte zu Gütekriterien in der qualitativen Forschung zurückgeführt werden, welche in Abschnitt 7.3.1 vorgestellt wurde.

⁸¹Dabei berechnet sich P_e wie folgt: $P_e = \frac{1}{N^2} \cdot \sum_{j=1}^s n_{.j} \cdot n_{.j}$ mit $n_{.j}$ und n_j gleich der Anzahl aller Objekte, die von Rater 1 bzw. 2 insgesamt Kategorie j zugewiesen wurden, s gleich der Anzahl der Kategorien und N gleich der Anzahl aller Objekte (Wirtz & Caspar, 2002).

einem umfangreichen Kategoriensystem die Frage, wie dieser interpretiert werden soll (Schreier, 2012; Kuckartz, 2019). Kuckartz (2019) kommt zu dem Schluss, dass die gängigen Kennwerte den eigentlichen Anforderungen der Prüfung der Interrater- bzw. Intrarater-Reliabilität für die qualitative Inhaltsanalyse in den meisten Fällen nicht gerecht werden. In Bezug auf Cohens Kappa schreibt Kuckartz (2019, 17) bspw.:

„Nehmen wir einen recht typischen Fall, in dem mit zehn Hauptkategorien gearbeitet wird, die durchschnittlich acht Subkategorien aufweisen, das heißt, es wird also mit insgesamt 80 Codes gearbeitet. Die Wahrscheinlichkeit, dass beim Codieren eines Textes durch zwei unabhängig voneinander Codierende einem vorab definierten Segment die gleiche Subkategorie zufällig zugeordnet wird, ist äußerst gering (nämlich 1,25 %). Deshalb sind Koeffizienten, die auf Kompensation von zufälliger Übereinstimmung orientiert sind, beim üblichen Codierprozess der qualitativen Inhaltsanalyse fragwürdig. Darüber hinaus existiert das Problem, dass die Größe der Textsegmente ja augenscheinlich eine Rolle spielt, denn je kleiner das codierte Segment ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass zwei Codierende zufällig übereinstimmen.“

Eine Alternative dazu bildet die diskursive Konsensbildung im Forscherteam, bei der weniger die Konsistenz der Codierungen, als vielmehr die am Ende geteilte Interpretation im Mittelpunkt steht, um auf diese Weise die Interpretationen der Ergebnisse in der wissenschaftlichen Forschungsgemeinschaft plausibel darstellen zu können (Schreier, 2012; Kuckartz, 2018). Dieses Verfahren wird in der vorliegenden Arbeit angewendet, wobei die PÜ (vor der Konsensbildung) der Vollständigkeit halber und für die spätere Diskussion der Ergebnisse angegeben wird. Das genaue Vorgehen wird nun im Folgenden näher vorgestellt, eine Diskussion der Konsequenzen für die Ergebnisinterpretation erfolgt im Anschluss.

Die Codierung der Interviews unterteilt sich in die fallbezogene Codierung der Kategorien 1.1 bis 1.6 (Vorstellungen zum Lehren und Lernen), 2.1 (Vorgehen bei der Unterrichtsplanung), 5.1 (Selbstwirksamkeitserwartungen beim Unterrichten von Quantenphysik), 5.2 (Persönliches Interesse an Quantenphysik), 6.1 und 6.2 (Reflexion) sowie in die lokale Codierung von Textstellen der verbleibenden Kategorien (vgl. Abschnitt 7.2.3). Die fallbezogene Codierung wird für alle elf Fälle von zwei Personen durchgeführt, die als Expert*innen für physikdidaktische Forschung in diesem Feld eingestuft werden können. Dies ist insbesondere aufgrund des vermehrt interpretativen Blickwinkels dieser Globaleinschätzungen wesentlich (Schreier, 2012; Kuckartz, 2018). Vor dem Codieren fand eine Einarbeitung in das Kategoriensystem und das dazugehörige Codiermanual statt. Einige Pilotierungsinterviews wurden für die Codierung der darauffolgenden Trainingsphase genutzt, wobei kritische Kategorien identifiziert und deren Definition

überarbeitet wurden. Für die Haupterhebung wird eine PÜ von 58 % für die fallbezogene Codierung erreicht. Das kann nach Wirtz und Caspar (2002) für schwer zu erfassende Merkmale als zufriedenstellend interpretiert werden.⁸² Nicht-Übereinstimmungen werden diskutiert und konsensual geklärt.

Das lokale Codieren von Textstellen vollzieht sich (a) in der Zuweisung der Kategorien (2. bzw. 3. Hierarchieebene des Kategoriensystems) und (b) in der anschließenden Zuweisung der Subkategorien (3. bzw. 4. Hierarchieebene des Kategoriensystems). Der erste Schritt wird aus ökonomischen Gründen für acht der elf Fälle (30 von 42 Interviews, was einem Anteil von 71 % entspricht) von zwei Personen durchgeführt. Es handelt sich zum einen (wie zuvor) um die Autorin dieser Arbeit und zum anderen um eine geschulte Hilfskraft. Die Hilfskraft wurde in das Kategoriensystem und das dazugehörige Codiermanual eingearbeitet und anhand von Pilotierungsinterviews in der Zuweisung der Kategorien trainiert. Wie in Abschnitt 7.2.3 beschrieben, werden währenddessen im Codiermanual bei Bedarf die Kategoriendefinitionen überarbeitet und bspw. durch strittige Textstellen aus den Interviews als Abgrenzungsbeispiele ergänzt. Für diesen Teil der Codierung wird eine PÜ von 58 % erreicht.⁸³ Das kann nach Wirtz und Caspar (2002) für schwer zu erfassende Merkmale als zufriedenstellend interpretiert werden. Nicht-Übereinstimmungen werden im Rahmen einer diskursiven Konsensfindung gelöst. Wenngleich der Wert der PÜ vor dem Hintergrund hochinferenter Daten als akzeptabel eingeschätzt werden kann, wäre auch für die lokalen Kategorien eine Doppelcodierung aller Fälle mit abschließender diskursiver Konsensbildung anzustreben. Dies ließ sich aus ressourcenorientierten Gründen nicht bewerkstelligen.

Die Vergabe der Subkategorien wird nur noch von einer Person (der Autorin) vorgenommen und von einer zweiten eingearbeiteten Person (es handelt sich um eine weitere Hilfskraft) lediglich zur Absicherung überprüft – es erfolgt also keine zweite unabhängige Codierung. Dieses Verfahren wird gewählt, da aufgrund der Fülle an Subkategorien und der Legitimation von Mehrfachcodierungen keine hohen Übereinstimmungen von unabhängigen Codier*innen zu erwarten wären und die Folgerung der Plausibilität der Zuweisungen auch auf diese Weise erreicht werden kann. Dieses Vorgehen wurde

⁸²Manche Autor*innen legen jedoch einen strengeren Maßstab zugrunde und akzeptieren erst Werte über 0,7 bzw. 0,75 (vgl. Wirtz & Casper, 2002).

⁸³Als Übereinstimmung wird dabei nur die gleiche Codierung in derselben Zeile gewertet. Die gleiche Codierung in der darauffolgenden Zeile wird hingegen bereits als Nicht-Übereinstimmung gezählt. Das Zulassen von Überlappungen hat die PÜ nicht wesentlich erhöht und wird aufgrund der konsensualen Auswertung von Nicht-Übereinstimmungen nicht als sachdienlich erachtet. Nichtsdestotrotz wird die PÜ dadurch als eher strenges Maß angelegt, was zur Interpretation der Übereinstimmung wichtig zu beachten ist.

wiederum auf alle Fälle angewendet. Nicht-Übereinstimmungen werden im Rahmen einer diskursiven Konsensfindung gelöst.

Als weitere qualitätssichernde Maßnahme wird zudem auch die Intrarater-Reliabilität bestimmt, wobei diese lediglich Auskunft über die zeitliche Stabilität der Systematik der Zuweisungen der Kategorien geben kann. Das bedeutet nicht notwendigerweise, dass das dahinterliegende Konstrukt zuverlässig abgebildet wird, da prinzipiell auch systematisch „falsch“ codiert werden kann (Kuckartz, 2018). Die Kombination aus Interrater-Reliabilität und Intrarater-Reliabilität erscheint allerdings für die vorliegende Studie aufgrund der eher niedrig ausfallenden PÜ für die Interrater-Reliabilität in beiden Codierverfahren zielführend. Zudem besteht die Möglichkeit, dass sich das Codierverhalten durch die Bearbeitung neuer Fälle (und die diskursive Konsensbildung) verändert, was durch die Intrarater-Reliabilität abgebildet werden kann.

	Interrater-Reliabilität		Intrarater-Reliabilität	
	PÜ in %	Anteil aller Interviews in %	PÜ in %	Anteil aller Interviews in %
Fallbezogene Codierung	58	100	67	19
Lokale Codierung	58	71	77	17

Tabelle 7.5.: Übersicht über die Werte der prozentualen Übereinstimmung für die Interrater- und Intrarater-Reliabilität.

Es werden dabei sowohl zwei Fälle für die fallbezogene Codierung (Fabian Krüger, Alexander Lücking) als auch zwei Fälle für die lokale Codierung von Textaussagen (Lisa Lenz, Mario Peters) doppelcodiert, dies stellt 19% bzw. 17% aller Interviews dar (zu Lisa Lenz liegen nur drei Interviews vor, daher die Abweichung). Da zum Zeitpunkt des Intraraters die Auswertung schon weit fortgeschritten war, konnten die Fälle nicht zufallsverteilt, sondern lediglich aufgrund von untersuchungspraktischen Gründen ausgewählt werden. Der Zeitabstand der Zweitcodierung beträgt zwischen sechs bis acht Wochen, was laut Schreier (2012) als angemessener Zeitabstand eingestuft werden kann. Die PÜ der fallbezogenen Codierung für die Intrarater-Reliabilität beträgt 67% und für die lokale Codierung von Textpassagen 77%. Das kann nach Wirtz und Caspar (2002) als zufriedenstellend interpretiert werden. Wie zu erwarten, liegt die Übereinstimmung der Intrarater-Reliabilität in beiden Fällen deutlich über der Übereinstimmung der Interrater-Reliabilität. Bei Nicht-Übereinstimmungen wird die zeitlich spätere Codierung aufgrund möglicher Lerneffekte oder Erfahrungswerte genommen. Die Ermittlung der Intrarater-Reliabilität findet zeitlich vor der konsensualen Aushandlung für die Interrater-Reliabilität statt.

Zusammenfassend lassen sich zwar akzeptable, aber dennoch eher niedrige Werte für die PÜ der Interrater-Reliabilität bzw. Intrarater-Reliabilität

feststellen.⁸⁴ Dies ist vermutlich zum einen auf die latent erfassten Variablen und den daraus resultierenden hochinferenten Daten zurückzuführen. Gerade die evaluativen Kategorien sind vermehrt hermeneutisch-interpretativ ausgerichtet (Kuckartz, 2018), weshalb die Formulierung von Indikatoren im Codiermanual für diese Kategorien nur bedingt möglich ist. Bspw. zeichnen sich Aspekte wie ein pragmatisches Verhalten bei der Unterrichtsplanung oder die Innovationsbereitschaft oftmals nur indirekt (und das bedeutet: nicht manifest) im Text ab, sodass „indicators will be of little help in recognising the meaning, because the meaning is not expressed on the surface in so many words“ (Schreier, 2012, 179).

Eine weitere Schwierigkeit stellt die Beurteilung der Lehrkräfte anhand ihrer Selbstauskünfte dar: Wird die Selbstbeurteilung einer Lehrperson oder die Einschätzung der beurteilenden Person basierend auf den Äußerungen der Lehrperson codiert? Dies ist eine wichtige Frage, da es sich nicht notwendigerweise um dieselbe Einschätzung handelt.⁸⁵ Für die Codierung werden beide Perspektiven einbezogen, was allerdings den Aushandlungsprozess und die Gewichtung erschwert, weshalb ein interpersoneller Konsens schwieriger herzustellen ist. Hier lässt sich eine Grenze der qualitativen Inhaltsanalyse als Auswerteverfahren feststellen, da mit ihr nur bedingt hermeneutisch analysiert werden kann. In Abschnitt 7.2.1 wurde argumentiert, warum die qualitative Inhaltsanalyse dennoch für die Beantwortung der Forschungsziele dieser Untersuchung als zielführend eingeschätzt wird und nicht andere Auswerteverfahren wie die Dokumentarische Methode oder die Objektive Hermeneutik gewählt wurden.⁸⁶

Zum anderen überschreitet das Kategoriensystem den von Kuckartz (2018) empfohlenen Umfang von ungefähr 100 Subkategorien mit 157 Subkategorien erheblich (vgl. Abschnitt 7.2.2), was die Übereinstimmung verschiedener Codier*innen zusätzlich erschwert. Eine Reduktion des Umfangs des Kategoriensystems wurde allerdings verworfen, um eine oberflächliche Ergebnisdarstellung zu vermeiden. Für die Untersuchung des Zusammenspiels verschiedener Einflussfaktoren erscheint eine umfangreiche und detaillierte Erfassung des Nutzungsverhaltens der Lehrkräfte zentral. Darüber hinaus lässt sich aufgrund der unterschiedlichen Redeanlässe in den verschiedenen Interview-

⁸⁴Die Gegenüberstellungen der Codierungen im Zuge der Ermittlung der Interrater- bzw. Intraraterreliabilität sind auf der beigefügten DVD einzusehen.

⁸⁵Bspw. kann die Angabe einer Person, dass sie sich nicht auf allen Gebieten der Quantenphysik sicher fühlt, je nach Zusammenhang als niedrige Selbstwirksamkeitserwartung oder als Zeichen von Souveränität und einer realistischen Einschätzung der eigenen Fähigkeiten eingeschätzt werden.

⁸⁶Insbesondere die Verknüpfung von qualitativer Inhaltsanalyse und der theoriegeleiteten Rekonstruktion von Nutzungsmustern basierend auf dem adaptierten Modell von Gregoire (2003) erscheint zielführend für die Bildung eines qualitativen Textverständnisses und einer holistischen Fallbetrachtung.

formaten (deskriptiv-argumentativ, allgemein auf eine Unterrichtsstunde bezogen) vermuten, dass unterschiedlich stark handlungsleitende Vorstellungen zum Lehren und Lernen erhoben werden (Wahl, 1991). Die fallbezogene Auswertung der Vorstellungen zum Lehren und Lernen differenziert daher nicht zwischen dem Grad der Handlungsnähe in den verschiedenen Interviewformaten, was möglicherweise zu unterschiedlichen Urteilen bei verschiedenen Codier*innen führt. Wiederum ermöglicht eine so breit gefächerte Erhebung der Vorstellungen zum Lehren und Lernen eine umfassende Charakterisierung der jeweiligen Lehrperson und kann somit auch als Vorteil dieser Studie gewertet werden.

Aus den genannten Gründen wurden ein großer Anteil der in der Auswertung betrachteten Fälle doppelcodiert, um die Plausibilität der Zuweisungen sicherzustellen. Dies wird durch die zusätzliche Ermittlung der Intrarater-Reliabilität untermauert. Weiterhin wurden alle Interviews durch die Autorin dieser Studie codiert, deren Codierung im Rahmen des Forschungsfelds als Experteneinschätzung gewertet werden kann, wodurch eine Inhaltsvalidierung vorliegt (vgl. Schreier, 2012). Dieses Vorgehen für die Qualitätssicherung des Auswerteprozesses erscheint für die Zielsetzung dieser Untersuchung, explorative Erkenntnisse zu generieren, adäquat und angemessen.

Das Nutzungsverhalten der Lehrkräfte wird aufgrund der dafür erforderlichen fachlichen und fachdidaktischen Expertise zur Quantenphysik, der erforderlichen Kenntnisse über die Ziele, Hintergründe und den Aufbau von MILQ sowie des erforderlichen fachdidaktischen Wissens über Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht lediglich von einer Person (der Autorin) rekonstruiert (vgl. Unterkapitel 8.5). Sicherlich wäre die Zuweisung der Handlungsmuster durch eine zweite Person wünschenswert, allerdings ist die Einarbeitung eines weiteren Experten bzw. einer weiteren Expertin im Rahmen dieser Studie nicht realisierbar. Dies hängt auch mit dem damit verbundenen Aufwand einer intensiven Auseinandersetzung mit den Fällen (Einbezug aller Interviews, Betrachtung der gefilmten Unterrichtsstunden und der eingesetzten Materialien) zusammen. Es wird lediglich über die Zuweisung von Grenzfällen im Modell mit der Person diskutiert, die ohnehin aufgrund der Codierung der global vergebenen Subkategorien alle Interviews der betreffenden Fälle gelesen hat.

Da die Rekonstruktion des Nutzungsverhaltens allerdings von der Autorin dieser Studie vorgenommen wird, die als Expertin für die genannten Gebiete eingestuft werden kann, kann im Rahmen der Inhaltsvalidität die Zuweisung der Handlungsmuster als valide bezeichnet werden. Eine Ermittlung der Intrarater-Reliabilität bietet sich für diesen Teil der Auswertung nicht an, da aufgrund der überschaubaren Fallanzahl (elf Personen) Erinnerungseffekte bei der Zuweisung der Handlungsmuster zu groß wären. Stattdessen wird über eine ausführliche Dokumentation der Rekonstruktion des Nut-

zungsverhaltens (vgl. Unterkapitel 8.5) der Zuweisungsprozess transparent gemacht.

Systematische und regelgeleitete Rekonstruktion des Zusammenspiels der Wirkfaktoren

Für eine systematische und regelgeleitete Rekonstruktion des Zusammenspiels verschiedener Wirkfaktoren der Materialnutzung ist die theoretisch fundierte Ableitung der Handlungsmuster anhand der ganzheitlichen Betrachtung der Fälle auf der Basis der Fallbeschreibungen (vgl. Unterkapitel 8.5) von besonderer Bedeutung. Diese rekonstruierten Handlungsmuster führen im Sinne einer methodologischen Triangulation die Erkenntnisse aus den verschiedenen Erhebungsinstrumenten zusammen und werden weiterhin mit den Ergebnissen aus der qualitativen Inhaltsanalyse verknüpft. Auf diese Weise können Indizien für (kausale) Zusammenhänge bspw. von Kategorien sowohl auf intrapersoneller als auch auf interpersoneller Ebene ausfindig gemacht werden. Um das Vorgehen transparent darzustellen und die verfolgte Systematik zu verdeutlichen, werden die verschiedenen Analyseschritte erläutert und im Detail vorgestellt (vgl. Kapitel 8).

Einbezug alternativer Interpretationen

Um zu einer abschließenden Interpretation zu kommen, werden intra- und interpersonelle Zusammenhänge zwischen Merkmalen bzw. Merkmalsgruppen rekonstruiert. Auf diese Weise können Hypothesen aufgestellt und im Laufe des Forschungsprozesses bestärkt oder begründet ausgeschlossen werden. Dabei ist es von besonderer Bedeutung, dass sich die Bildung eines Gesamteindrucks einer Person unvoreingenommen vollzieht und nicht bspw. durch bereits vorhandene Kenntnisse aus bestimmten Erhebungsinstrumenten beeinflusst wird (Halo-Effekt). Eine ausführliche Diskussion der abschließenden Interpretation und möglicher Alternativen sowie der Limitation der Aussagekraft der Ergebnisse sind in den Kapiteln 8 und 9 nachzulesen.

Aufklärung von Widersprüchen bzw. Inkonsistenzen

Um die abschließende Interpretation der Ergebnisse valide darstellen zu können, ist es zentral, scheinbare Widersprüche oder Inkonsistenzen in den Daten plausibel aufzuklären (vgl. Validitätsannahme 9) *Einbezug alternativer Interpretationen*). Durch die verschiedenen Erhebungsinstrumente und Auswerteverfahren besteht die Möglichkeit, durch die ganzheitliche Betrachtung der Fälle gezielt widersprüchliches Verhalten aufzudecken und mögliche Erklärungsansätze zu liefern. Lassen sich Inkonsistenzen nicht ohne Weiteres aufklären, besteht weiterhin die Möglichkeit, im Abgleich mit der

Forschungsliteratur zu prüfen, ob es sich dabei um ein Artefakt des Konstrukts handeln könnte – bspw. stellte Fischler (2000b) fest, dass Vorstellungen zum Lehren und Lernen von angehenden Physiklehrkräften durchaus widersprüchlich sein können. Zu diesem Zweck wird auch Bezug zu den Antinomien pädagogischen Handelns nach Helsper (2004) genommen. Dies wird genauer in Kapitel 10 beschrieben und diskutiert.

Einordnung in bestehende theoretische und empirische Erkenntnisse

Um die Plausibilität der gewonnenen Erkenntnisse zu verdeutlichen, findet eine ausführliche Einordnung in bisherige theoretische Annahmen und empirische Befunde in den Kapiteln 8, 9 und 10 statt.

7.4. Zusammenfassung: Datenauswertung

Da die Intention der vorliegenden Untersuchung eine Charakterisierung der Lehrkräfte und deren Materialnutzungsverhalten zur Ableitung von Handlungsmustern und Wirkmechanismen darstellt, liegt der Schwerpunkt der Auswertung auf einer Analyse der Interviews. Dazu werden die Interviews regeleleitet transkribiert. Danach werden die Interviews mittels qualitativer Inhaltsanalyse ausgewertet. Ziel ist es, ein Textverständnis zu generieren, indem in zyklischen Durchgängen das Datenmaterial theorie- und datengeleitet verarbeitet, systematisiert und Kategorien zugeordnet wird. Da die qualitative Inhaltsanalyse kein einheitliches Verfahren zur Textanalyse darstellt, wird die inhaltlich strukturierende qualitative Inhaltsanalyse und die evaluative qualitative Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018) ausgewählt und diese Auswahl systematisch begründet.

Um einen Überblick über die getroffenen Entscheidungen in Abgrenzung zu anderen Varianten der qualitativen Inhaltsanalyse zu geben, wird mithilfe des Werkzeugkastens von Schreier (2014) das Vorgehen dieser Arbeit in Tabelle 7.6 zusammengefasst (das Vorgehen in der vorliegenden Studie ist fettgedruckt).

Es wird ein hierarchisches Kategoriensystem aufgestellt, welches sich aus sechs Hauptkategorien zusammensetzt. Diese wurden primär deduktiv in Anlehnung an den Interviewleitfaden des Einstiegsinterviews entwickelt. Die (Sub-)Kategorien wurden deduktiv-induktiv entwickelt. Schwerpunkt des Kategoriensystems bildet das Herausarbeiten von allgemeinen Auswahlkriterien zur Materialnutzung und angelegten Kriterien bei der Einschätzung von MILQ.

Die Codierung der Interviews vollzieht sich in zwei Phasen. Die evaluativen und daher vermehrt interpretativen Kategorien stellen eine ganzheitliche Personeneinschätzung dar, weshalb die zugrundeliegende Codiereinheit ein

gesamter Fall darstellt. Die inhaltlich strukturierenden Kategorien werden hingegen lokal an Textpassagen codiert.

Schritte der Inhaltsanalyse	„Werkzeuge“/ Optionen
Festlegung der Forschungsfrage	Wie nutzen Lehrkräfte ein empirisch fundiertes Unterrichtskonzept im Physikunterricht?
Auswahl des Materials	Welches Material? Visuell, verbal, Hypertextstruktur, Dokumente, Interviews , Fokusgruppen, Webseiten, usw. Welche Auswahlstrategie? Absichtsvoll , Zufallsverfahren, Ad hoc-Auswahl
Erstellen des Kategoriensystems	Welche Basisstrategie? Deduktiv, induktiv, deduktiv-induktiv Wenn induktiv: Welche Strategie? Subsumtion , Zusammenfassung, offenes Codieren, Kontrastierung Welche Aspekte des Materials? Inhalte allgemein, Handlungen, Emotionen, Werte , Formaspekte allgemein, Elemente von Erzählungen, usw. Wie viele Personen? Forscher*in alleine, gemeinsam mit anderen Wie viel Material wird einbezogen? Alle Pilotierungsinterviews und ca. 30% der Haupterhebung (in Anlehnung an die Grounded Theory) Abbruchkriterium? Vorher festgelegt, Sättigung
Unterteilung des Materials in Einheiten	Welche Einheiten? Codiereinheiten , Kontexteinheiten Wie systematisch? Explizites Markieren, Markieren und Codieren in einem Schritt Wie viele Personen? Forscher*in alleine, zwei Personen gemeinsam , zwei Personen unabhängig voneinander Wie groß ist die Codiereinheit? Die Antwort auf eine Frage bzw. ein Fall
Probecodierung	Durchführung einer Probecodierung? Ja/Nein Wenn ja: Wie viele Personen? ForscherIn alleine, zwei Personen gemeinsam, zwei Personen unabhängig voneinander
Evaluation und Modifikation des Kategoriensystems	Art des Codiervergleichs? Codierbesprechung, Berechnung eines Interrater-Koeffizienten (welcher?), beides (Berechnung der PÜ)

Tabelle 7.6.: Überblick zur gewählten Variante der qualitativen Inhaltsanalyse (zitiert nach Schreier, 2014, Hervorhebungen spiegeln das Vorgehen in der vorliegenden Studie wider).

Abschließend erfolgt eine Vorstellung und Diskussion qualitätssichernder Maßnahmen und Limitationen der vorliegenden Untersuchung. Da kein Routineverfahren der Qualitätssicherung existiert, werden verschiedene Kataloge von Gütekriterien der (qualitativen) empirischen Forschung vorgestellt und

daraus ein argumentbasierter Validitätsansatz zur Vereinigung der verschiedenen Gütekriterienkataloge und zur Fokussierung von Operationalisierungen abgeleitet.

Anhand von elf Validitätsargumenten werden verschiedene qualitätssichernde Maßnahmen wie *Theoretical Sampling*, empirische Sättigung, methodologische Triangulation, kommunikative Validierung, Prüfung der Interrater-Reliabilität und der Intrarater-Reliabilität sowie Inhaltsvalidierung angewendet. Daraus folgt, dass die vorliegende Untersuchung eine hohe interne Validität, aber aufgrund der Kontextspezifität Einschränkungen der externen Validität aufweist. Demzufolge kann das gewählte Forschungsdesign, die Erhebungsmethoden, die Auswerteverfahren und die Interpretation der Ergebnisse für die angestrebte explorative Erkenntnisgewinnung als angemessen und zielführend eingestuft werden.

8. Vorstellung und Interpretation der Ergebnisse

Nachdem in den vorherigen Kapiteln die Erhebungs- und Auswertungsverfahren der vorliegenden Untersuchung erläutert wurden, werden im weiteren Verlauf die Ergebnisse dargestellt und interpretiert. Zunächst wird in Form eines Steckbriefs ein Überblick über die Hintergründe der einzelnen teilnehmenden Lehrkräfte zur besseren Ergebniseinordnung gegeben (vgl. Unterkapitel 8.1).

Die anschließende Ergebnisvorstellung erfolgt auf der Basis des entwickelten Kategoriensystems und anhand einschlägiger Zitate aus den codierten Interviews. Zur Beantwortung der Forschungsfragen erfolgt in einem ersten Schritt in Unterkapitel 8.2 eine themenbasierte Darstellung der Ergebnisse entlang der Kategorien für alle Fälle (vgl. Kuckartz, 2018; 2019). Hierbei werden externe Rahmenbedingungen sowie personenbezogene und materialbezogene Merkmale als Bedingungen der Materialnutzung deskriptiv vorgestellt und der Implementierungsprozess von MILQ beschrieben. Darüber hinaus werden Zusammenhänge zwischen verschiedenen Subkategorien berichtet.

In einem zweiten Schritt werden die Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse fallbasiert vorgestellt (vgl. Unterkapitel 8.3). Durch diese ganzheitlichen Fallbetrachtungen können individuelle Besonderheiten hervorgehoben, Inkonsistenzen im Handeln einzelner Lehrkräfte aufgezeigt sowie die Zusammenhänge von Subkategorien auf Fallebene genauer untersucht werden, um daraus mögliche Wirkmechanismen abzuleiten (vgl. Kuckartz, 2018; 2019). Die bis dato gewonnenen Erkenntnisse werden in Unterkapitel 8.4 zusammengefasst. Um den qualitativen Forschungsprozess abzurunden, werden zum Schluss aus den individuellen Fallbeschreibungen interindividuelle Handlungsmuster rekonstruiert, um das Typische aus den Fällen herauszuarbeiten (vgl. Unterkapitel 8.5). Auf diese Weise sollen vermutete generalisierbare Wirkmechanismen aus den Befunden abgeleitet werden.

8.1. Steckbriefe der teilnehmenden Lehrkräfte

Die Steckbriefe zu den teilnehmenden Lehrkräften geben einen kurzen Überblick über die Hintergründe der teilnehmenden Lehrkräfte, um eine bessere Einordnung der Ergebnisse zu ermöglichen. Dabei bleiben die Ausführungen im Gegensatz zu den später folgenden Fallbeschreibungen deskriptiv. In Kapitel 6 wurden bereits Merkmale der Stichprobe vorgestellt, die hier in Teilen erneut aufgegriffen werden. Weiterhin werden schulspezifische Gegebenheiten und die Themenabfolge der Unterrichtsreihe zur Quantenphysik vorgestellt sowie gegebenenfalls auf fehlende Daten (und die Gründe hierfür) verwiesen. Insgesamt nahmen elf Lehrkräfte an der vorliegenden Untersuchung teil.⁸⁷

Mario Peters

Mario Peters ist Diplomphysiker und promovierte in der Experimentalphysik. Er arbeitet seit sechs Jahren als Quereinsteiger an einem Gymnasium in Niedersachsen. Das Thema Quantenphysik unterrichtete er schon mehrfach sowohl im Grund- als auch im Leistungskurs. Sein derzeitiger Grundkurs befindet sich in der Q1 und besteht aus 17 Schüler*innen (davon zwei Mädchen). Der Kurs ist nach seinen Angaben sehr heterogen zusammengesetzt, einige Schüler*innen sind an Physik sehr interessiert, aber in der letzten Klausur erzielte knapp die Hälfte des Kurses keine ausreichende Leistung. Peters besitzt ein ausgearbeitetes Unterrichtsskript zur Quantenphysik, was er auf der Basis von Materialien eines früheren Ausbildungslehrers entwickelte.

Seine Unterrichtsreihe beginnt mit Photonen als Quantenobjekte. Dazu demonstriert Peters anhand von Photopapier, dem Hallwachs-Versuch und dem Photoeffekt die Wechselwirkung von Licht und Materie. Weiterhin zeigt er mittels LEDs die Umkehrung des Photoeffekts, was über die Lehrplan-Vorgaben hinausgeht (KLP Niedersachsen, 2016). Anschließend behandelt Peters Elektronen als Quantenobjekte, wozu er das Interferenzbild von Photonen am Doppelspalt mit Elektronen vergleicht, um daraus zur De-Broglie-Wellenlänge zu kommen. Zu diesem Zweck zeigt Peters Bilder des Interferenzmusters am Overhead-Projektor. Im Anschluss führt er das Zeigermodell ein und diskutiert die Wahrscheinlichkeitsverteilung von Elektronen am Doppelspalt. Abschließend behandelt er die Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation in Hinblick auf den Unterschied des Interferenzbilds eines Einzelspalts im Vergleich zu dem eines Doppelspalts, was ebenfalls über die Lehrplan-Vorgaben für Grundkurse hinausgeht (KLP Niedersachsen, 2016).

⁸⁷An dieser Stelle sei erneut darauf hingewiesen, dass es sich bei allen verwendeten Namen um Pseudonyme handelt.

Die Elektronenbeugungsröhre führt er zu einem späteren Zeitpunkt in der Atomphysik – aufgrund der ähnlichen Geometrie gemeinsam mit der Röntgenbremsstrahlung – ein. Seine Unterrichtsreihe zur Quantenphysik umfasst 14 45-Minuten-Einheiten.

Miriam Kruse

Miriam Kruse studierte Lehramt und arbeitet seit über 20 Jahren als Lehrerin an einem hessischen Gymnasium. Dementsprechend unterrichtete sie das Thema Quantenphysik bereits viele Male sowohl im Grund- als auch im Leistungskurs. Ihr derzeitiger Grundkurs befindet sich in der Q2 und setzt sich aus 21 Schüler*innen (davon sieben Mädchen) zusammen. Die Unterrichtsreihe zur Quantenphysik beginnt Kruse mit Photonen als Quantenobjekten, indem sie anhand des Hallwachs-Versuches und der Gegenfeldmethode die Frequenzabhängigkeit der Energie des Lichts nachweist. Weiterhin geht sie kurz auf den Compton-Effekt ein, um die Impulseigenschaften von Photonen aufzuzeigen, was über die Lehrplan-Vorgaben zum Grundkurs hinausgeht (KLP Hessen, 2016). Anschließend führt sie die Beugung von Elektronen und die De-Broglie-Wellenlänge mittels der Elektronenbeugungsröhre ein und vertieft dies mit der Untersuchung von Elektronen am Doppelspalt anhand eines animierten Films. Im Anschluss behandelt Kruse die Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation, was ebenfalls über die Lehrplan-Vorgaben zum Grundkurs hinausgeht (KLP Hessen, 2016). Abschließend interpretiert Kruse gemeinsam mit ihren Schüler*innen den Doppelspaltversuch anhand verschiedener Deutungen der Quantenphysik. Ihre Unterrichtsreihe zur Quantenphysik setzt sich insgesamt aus 20 45-Minuten-Einheiten zusammen. Kruses Unterrichtsreihe weist von allen teilnehmenden Grundkurslehrkräften den höchsten Umfang auf.⁸⁸

Kai Schmidt

Kai Schmidt ist Diplomphysiker und arbeitet seit über zehn Jahren als Quereinsteiger an einem Gymnasium in NRW. Er unterrichtet häufig in der Oberstufe, weshalb er viel Erfahrung im Unterrichten von Quantenphysik sowohl im Grund- als auch im Leistungskurs besitzt. Sein derzeitiger Leistungskurs befindet sich in der Q2 und setzt sich aus 21 Schüler*innen (davon vier Mädchen) zusammen. Schmidt beginnt seine Unterrichtsreihe zur Quantenphysik mit Photonen als Quantenobjekten mittels des Hallwachs-Versuches und der Gegenfeldmethode. In diesem Zusammenhang behandelt er weiterhin die Röntgenröhre als Umkehrung des Photoeffekts, den Compton-Effekt sowie

⁸⁸Von einer Lehrperson (Schneider) liegen allerdings keine Kursbucheinträge vor, sodass der Umfang ihrer Unterrichtsreihe nicht rekonstruiert werden kann.

Paarbildung und Zerstrahlung, was über die Lehrplanvorgaben hinausgeht (KLP NRW, 2014). Er führt qualitativ die Wellenfunktion und die Superposition von Zuständen ein und verdeutlicht deren Bedeutung am Mach-Zehnder-Interferometer. Anschließend leitet er zu Elektronen als Quantenobjekte über und führt die De-Broglie-Wellenlänge ein. Dazu bespricht er mit seinen Schüler*innen das Interferenzmuster von Elektronen am Doppelspalt anhand eines animierten Films. Das Beugungsbild der Elektronenbeugungsröhre zeigt Schmidt mittels einer Abbildung aus dem Schulbuch. Zur Thematisierung der Dekohärenz bespricht er zudem das Paradoxon *Schrödingers Katze*. Danach behandelt er die Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation. Anschließend berechnet er mit seinen Schüler*innen den linearen Potentialtopf und geht zum Abschluss auf die Verschränkung von Photonen ein, was ebenfalls über die Lehrplanvorgaben hinausgeht (KLP NRW, 2014). Seine Unterrichtsreihe zur Quantenphysik umfasst 26 45-Minuten-Einheiten.

Lisa Lenz

Lisa Lenz studierte Lehramt und arbeitet seit mehr als 15 Jahren als Lehrerin an einem Gymnasium in NRW. Sie unterrichtete Quantenphysik schon mehrfach im Grundkurs, allerdings ist es für sie das erste Mal im Leistungskurs. Die Lehrerin Carolin Schneider, die ebenfalls an der vorliegenden Untersuchung teilnimmt, arbeitet an der gleichen Schule wie Lenz. Schneider unterrichtet zwei Grundkurse in der Q1. Beide führten die Reihenplanung zur Quantenphysik gemeinsam durch, da ursprünglich Lenz den zweiten Grundkurs unterrichten sollte. Lenz musste jedoch kurzfristig nach den Sommerferien den Leistungskurs in der Q2 als Vertretung übernehmen. Aus diesem Grund blieb Lenz keine Zeit für eine ausführliche Reihenplanung für den Leistungskurs, weshalb sie sich nach eigenen Angaben eng am schulinternen Curriculum orientierte. Aufgrund dieser plötzlichen Planungsänderung konnte nur eine Unterrichtsstunde von Lenz am Ende der Unterrichtsreihe aufgezeichnet und nachbesprochen werden, da die Lehrerin die ersten Wochen des Schuljahres keine Kapazitäten hatte.

Ihr derzeitiger Leistungskurs setzt sich aus 15 Schüler*innen (davon zwei Mädchen) zusammen. Zu Beginn der Unterrichtsreihe behandelt sie die Phänomene Hallwachs-Versuch, Gegenfeldmethode, das Mach-Zehnder-Interferometer mit einzelnen Photonen und den Compton-Effekt zur Demonstration der Teilcheneigenschaften von Licht. Im Anschluss führt sie über die Elektronenbeugungsröhre Elektronen als Quantenobjekte und die De-Broglie-Wellenlänge ein. Dabei betont sie das indeterministische Verhalten von Quantenobjekten und zeigt den Gegensatz zur klassischen Physik auf. Danach behandelt Lenz die Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation. Abschließend geht sie auf Schrödingers Katze ein, um den Widerspruch zur klassischen

Physik erneut hervorzuheben. In diesem Zusammenhang kommt sie mit ihren Schüler*innen auch auf unterschiedliche Deutungen der Quantenphysik zu sprechen. Ihre Unterrichtsreihe umfasst 28 45-Minuten-Einheiten. Die Unterrichtsreihe von Lenz weist den höchsten Umfang von allen teilnehmenden Lehrkräften auf. Die anderen Leistungskurs-Lehrkräfte bewegen sich allerdings in einer ähnlichen Größenordnung.

Carolin Schneider

Carolin Schneider ist promovierte Chemikerin und arbeitet seit über zehn Jahren als Quereinsteigerin an einem Gymnasium in NRW. Sie betreut als zusätzliche Tätigkeit als Ausbildungsbeauftragte die Referendar*innen an ihrer Schule. Schneider arbeitet an der gleichen Schule wie Lenz. Schneider unterrichtete bereits mehrfach Quantenphysik im Grundkurs (allerdings noch kein Mal im Leistungskurs). Derzeit unterrichtet sie zwei Grundkurse in der Q1, wovon einer im Rahmen der vorliegenden Untersuchung begleitet wird. Dieser Kurs setzt sich aus 15 Schüler*innen (davon neun Mädchen) zusammen.

Von Schneider liegen keine Kursbucheinträge vor, weshalb die Unterrichtsreihe nur auf der Basis von Schneiders Angaben in den Interviews nachvollzogen werden kann. Sie beginnt mit Photonen als Quantenobjekten. Danach macht sie einen Exkurs zum Elektron (Bestimmung der spezifischen Ladung durch den Millikan-Versuch und bewegte Ladung im Magnetfeld mittels Fadenstrahlrohr). Abschließend behandelt sie die Beugung von Elektronen sowohl mit einer Simulation zum Doppelspalt-Versuch als auch mit der Elektronenbeugungsröhre. Der Doppelspalt mit Elektronen ist kein Schlüsselexperiment für den Grundkurs in NRW, also nicht vom Lehrplan vorgeschrieben (KLP NRW, 2014).

Aufgrund des Exkurses zum Elektron war unklar, wann Schneider die Unterrichtsreihe zur Quantenphysik fortführen würde, was bedauerlicherweise dazu führte, dass ich den erneuten Einstieg in das Thema verpasste. Daher konnte keine zweite Unterrichtsstunde gefilmt werden, da Schneider die Unterrichtsreihe dann sehr schnell abschloss und mit einem neuen Inhaltsbereich begann. Der Umfang der Unterrichtsreihe kann aufgrund der fehlenden Kursbucheinträge nicht angegeben werden.

Marcel Leinert

Marcel Leinert studierte Lehramt und arbeitet seit mehr als fünf Jahren an einem Gymnasium in NRW. Er unterrichtete bereits mehrfach Quantenphysik in Grund- und Leistungskurs. Leinert plante ursprünglich, mit Elektronenbeugung in die Quantenphysik einzusteigen, wurde jedoch zu Beginn der

Unterrichtsreihe krank und fiel für sechs Wochen aus. In dieser Zeit wurde er von einer anderen Lehrkraft vertreten, welche über Photonen als Quantenobjekte in die Unterrichtsreihe einstieg. Aufgrund dieser Tatsache liegt von Leinert keine videographierte Unterrichtsstunde zum Thema Photon vor. Ersatzweise wurde neben einer Unterrichtsstunde zur Elektronenbeugung eine weitere Unterrichtsstunde zum Fadenstrahlrohr videographiert. Aufgrund seines Ausfalls hing Leinert seinen Angaben zufolge zeitlich hinterher und versuchte während der Unterrichtsreihe, Zeit zu gewinnen. Zudem hat sich die Zusammensetzung seines Grundkurses während der Datenerhebung aufgrund des Halbjahreswechsels leicht verändert. Zunächst setzte sich sein Grundkurs aus 19 Schüler*innen (davon neun Mädchen) zusammen. Zum Halbjahr wählten fünf Schüler*innen Physik ab und eine Schülerin kam hinzu, sodass der Kurs danach aus 15 Schüler*innen (davon sieben Mädchen) besteht. Leinerts Angaben zufolge wählten die leistungsstärksten Schüler*innen Physik ab (weil diese Medizin studieren wollen und auf gute Zeugnisnoten bedacht seien).

Wie beschrieben, beginnt die Unterrichtsreihe mit Photonen als Quantenobjekten. Dazu führte die Vertretungslehrkraft den Hallwachs-Versuch und den Photoeffekt durch. Leinert behandelt im Anschluss die Umkehrung des Photoeffekts mittels LEDs, was über die Lehrplan-Vorgaben hinausgeht (KLP NRW, 2014). Nach einem Exkurs zum Elektron (glühelektrischer Effekt und Ablenkung in elektrischen Feldern) leitet er zur Elektronenbeugung über. Dazu führt er sowohl den Doppelspalt-Versuch mit Elektronen mithilfe einer Simulation als auch die Elektronenbeugungsröhre durch. Im Anschluss bestimmt er mittels Millikan-Versuch die spezifische Ladung von Elektronen. Danach behandelt er bewegte Ladungen im Magnetfeld (Leiterschaukel und Fadenstrahlrohr). Wie bereits erwähnt, wurde dazu ersatzweise eine Unterrichtsstunde aufgezeichnet, obwohl es sich strenggenommen nicht mehr um das Thema Quantenphysik handelt. Seine Unterrichtsreihe zur Quantenphysik umfasst ca. 18 45-Minuten-Einheiten.

Fabian Krüger

Fabian Krüger studierte Lehramt und arbeitete zunächst als Lehrer in Mecklenburg-Vorpommern und später dann in NRW. Er promovierte als abgeordneter Lehrer in der Didaktik der Physik. Derzeit arbeitet er an einem Gymnasium in Mecklenburg-Vorpommern und ist dort stellvertretender Schulleiter. Er besitzt über 15 Jahre Unterrichtserfahrung und unterrichtete das Thema *Quantenphysik* bereits mehrfach.

Krüger berichtet, dass seiner Erfahrung nach der Unterricht in Mecklenburg-Vorpommern wesentlich lehrerzentrierter gestaltet sei als in NRW. Eigenständiges Arbeiten der Schüler*innen „gilt [unter Eltern und Schüler*innen]

als eher Faulheit“ (Krüger, I1, 66) der Lehrkraft. Krüger passt seinen Unterrichtsstil diesen Erwartungen an, da gegen ihn aufgrund von Beschwerden von Eltern ein rechtliches Verfahren eingeleitet wurde. Weiterhin führt Krüger routinemäßig zu Beginn seiner Unterrichtsstunden in der Regel eine Wiederholung, häufig in Form eines Kurzttests, durch, was an seiner Schule so üblich ist. Eine weitere besondere Randbedingung stellt die Zusammensetzung seines Physikkurses dar. In Mecklenburg-Vorpommern wird zum Zeitpunkt der Studie nicht zwischen Grund- und Leistungskurs getrennt. Vielmehr werden die Schüler*innen gemeinsam unterrichtet und entscheiden am Ende der Qualifikationsphase, ob sie im Zentralabitur die Grund- oder Leistungskursklausur schreiben möchten. Krügers derzeitiger Physikkurs befindet sich in der Q2 und setzt sich aus 14 Schüler*innen (davon zwei Mädchen) zusammen. Die Schulleiterin unterrichtet den Parallelkurs in derselben Zeitschiene wie Krüger, weshalb sie von Zeit zu Zeit die beiden Kurse zusammenlegen, wenn einer der beiden Lehrkräfte die jeweils andere vertreten muss. In diesem Zusammenhang spricht Krüger (scherzhaft) von seiner Schulleiterin als seinem „Kontrolletti“ (Krüger, I1, 42).

Zu Krügers Unterrichtsreihe liegen keine Kursbucheinträge vor, weil er nach eigenen Angaben diese erst am Ende des Schuljahres „nachträgt“. Daher kann der Ablauf der Unterrichtsreihe lediglich aus den Interviews rekonstruiert werden. Die Unterrichtsreihe beginnt mit Photonen als Quantenobjekte. Dazu führt er den Hallwachs-Versuch und den Photoeffekt durch. Anschließend leitet er über zur Elektronenbeugung, welche er anhand des Doppelspalt-Versuchs visualisiert. In diesem Zusammenhang führt er die De-Broglie-Wellenlänge ein. Danach diskutiert er mit seinen Schüler*innen das Paradoxon *Schrödingers Katze*. Im Anschluss thematisiert er die Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation und den linearen Potentialtopf. Aufgrund der fehlenden Kursbucheinträge kann der Umfang der Unterrichtsreihe nicht rekonstruiert werden.

Aufgrund des langen Anfahrtswegs wurde die Nachbesprechung der ersten Unterrichtsbeobachtung zum Zeitpunkt der zweiten Unterrichtsbeobachtung durchgeführt. Aufgrund dessen liegt eine große Zeitspanne zwischen der ersten Unterrichtsbeobachtung und dem ersten Stimulated-Recall-Interview, was eine ungünstige Ausgangsvoraussetzung darstellt und daher bereits in Abschnitt 7.3.2 als limitierend diskutiert wurde.

Christian Janssen

Christian Janssen studierte Lehramt und besitzt mehr als zehn Jahre Unterrichtserfahrung. Er arbeitet als Lehrer an einem Gymnasium in NRW und ist seit zwei Jahren als Fachleiter an einem Studienseminar für Physik tätig. Janssen unterrichtete das Thema Quantenphysik schon mehrfach in

Grund- und Leistungskursen. Sein derzeitiger Grundkurs setzt sich aus 26 Schüler*innen (davon vier Mädchen) zusammen. Janssen wollte ursprünglich im ersten Halbjahr der Q1 mit dem Thema *Quantenphysik* beginnen, allerdings verzögerte sich die Reihe aufgrund der Wiederholung von Themen aus der Einführungsphase und Verschiebungen durch einen Referendar im Kurs bis zum Ende der Q1 und dem Anfang der Q2.

Seine Unterrichtsreihe beginnt mit der Elektronenbeugungsröhre als Versuch, um die Welleneigenschaften von Elektronen vorzuführen. Vor der Auswertung der Elektronenbeugungsröhre spannt Janssen den Bogen zum Hallwachs-Versuch und zum Photoeffekt, um „die Brücke [...] zum Welle-Teilchen-Dualismus“ (Janssen, SR1, 12) zu schlagen. Weiterhin führt er als Umkehrung des Photoeffekts die Röntgenbremsstrahlung durch. Anschließend zeigt er erneut die Elektronenbeugungsröhre als Versuch, um zur De-Broglie-Wellenlänge überzuleiten. Seine Unterrichtsreihe umfasst insgesamt ca. 12 45-Minuten-Einheiten.

Alexander Lücking

Alexander Lücking studierte Lehramt und ist seit über 10 Jahren als Lehrer an einem Gymnasium in NRW tätig. Er unterrichtete bereits zweimal Quantenphysik im Grundkurs, wobei das bereits über fünf Jahre her ist. Sein derzeitiger Physikkurs ist Lückings erster Leistungskurs und befindet sich zu Beginn der Q2. Der Kurs setzt sich aus acht Schülern (kein Mädchen) zusammen.

Lücking beginnt wie Janssen seine Unterrichtsreihe mit den Welleneigenschaften von Elektronen, die er anhand der Elektronenbeugungsröhre veranschaulicht. Anschließend leitet er zu Teilcheneigenschaften von Licht über, wozu er den Hallwachs-Versuch und den Photoeffekt vorführt. Danach diskutiert er mit seinen Schülern den Welle-Teilchen-Dualismus und die Eigenschaften von Quantenobjekten. Dazu thematisiert er die Präparation dynamischer Eigenschaften von klassischen Objekten und Quantenobjekten am Beispiel einer Simulation zum Mach-Zehnder-Interferometer mit einzelnen Photonen. Anschließend bespricht er die Wahrscheinlichkeitsinterpretation von Elektronen am Doppelspalt mittels einer Simulation. In diesem Zusammenhang thematisiert er die De-Broglie-Wellenlänge von Elektronen. Seine Unterrichtsreihe umfasst 25 45-Minuten-Einheiten.

Tobias Kampe

Tobias Kampe studierte Lehramt und ist seit vier Jahren als Lehrer an einem Gymnasium in NRW tätig. Er unterrichtet bereits das fünfte Mal Quantenphysik. Sein derzeitiger Grundkurs befindet sich in der Q1 und setzt sich aus

16 Schüler*innen (davon vier Mädchen) zusammen. Nach Kampes Angaben ist der Grundkurs sehr heterogen zusammengesetzt; insgesamt beklagt er allerdings eine niedrige Beteiligung am Unterricht.

Seine Unterrichtsreihe beginnt mit Photonen als Quantenobjekte, wozu er den Hallwachs-Versuch zeigt und die Schüler*innen den Photoeffekt als Simulation durchführen lässt. Anschließend führt er die Umkehrung des Photoeffekts mittels LEDs durch, was über die Vorgaben des Lehrplans hinausgeht (KLP NRW, 2014). Danach leitet er zu Elektronen als Quantenobjekte über und veranschaulicht die Welleneigenschaften von Elektronen anhand der Elektronenbeugungsröhre. Im Anschluss lässt er die Schüler*innen den Doppelspaltversuch mit Elektronen als Simulation durchführen. Abschließend diskutiert er mit seinen Schüler*innen verschiedene Interpretationsansätze der Quantenphysik, indem er die Schüler*innen zu verschiedenen Deutungen recherchieren lässt. Seine Unterrichtsreihe umfasst insgesamt 18 45-Minuten-Einheiten.

Simon Meyer

Simon Meyer studierte Lehramt und arbeitete nach seinem Studium als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Didaktik der Physik. Er ist seit einem Jahr als Lehrer an einem Gymnasium in NRW tätig. Meyer (I1, 76) sagt über die Randbedingungen seiner Unterrichtsvorbereitung:

„Bedingt dadurch, dass ich jetzt noch zwei Kinder zuhause habe, die im Zweifel, wenn ich am Schreibtisch sitze, noch mitschreiben wollen, ist das meistens eher so ein: Ich bereite die Materialien vor und den Rest habe ich irgendwie- Also das, was ich quasi einsetzen will und der Rest ist drumherum bei mir im Kopf drin.“

Er unterrichtet das erste Mal eigenständig Quantenphysik. Sein Grundkurs befindet sich in der Q1 und setzt sich aus 21 Schüler*innen (davon sieben Mädchen) zusammen. Nach Meyers Einschätzung handelt es sich um einen sehr heterogen zusammengesetzten Kurs. Da an der Schule keine Physik-Leistungskurse angeboten werden, sind nach Meyers Angaben mehrere sehr leistungsstarke Schüler*innen im Grundkurs, die eigentlich Physik als Leistungskurs wählen wollten.

Die Unterrichtsreihe beginnt mit Photonen als Quantenobjekten, wozu Meyer den Hallwachs-Versuchs durchführt. Im Anschluss macht er einen Exkurs zum elektrischen Feld. Danach bespricht er den Photoeffekt mit seinen Schüler*innen. Anschließend behandelt Meyer die spezifische Ladung von Elektronen und bewegte Ladungen im Magnetfeld anhand des Millikan-Versuches und des Fadenstrahlrohrs. Im Anschluss untersuchen seine Schüler*innen die Welleneigenschaften von Elektronen anhand einer Simulation

zum Doppelspalt-Versuches. In diesem Zusammenhang führt Meyer die De-Broglie-Wellenlänge ein. Abschließend diskutiert er verschiedene Deutungen der Quantenmechanik mit seinen Schüler*innen. Seine Unterrichtsreihe zur Quantenphysik – den Exkurs zum Elektron nicht mitgerechnet – umfasst insgesamt ca. 10 45-Minuten-Einheiten. Meyers Unterrichtsreihe ist die kürzeste von allen teilnehmenden Lehrkräften.

8.2. Themenbasierte Ergebnisdarstellung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse vorgestellt. Zunächst wird themenbasiert auf die einzelnen Kategorien eingegangen. Dazu werden die Anzahl an Personen, welche einer Subkategorie zugewiesen wurden, und für die lokal codierten Subkategorien die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit in Bezug auf die Gesamtanzahl aller Codings pro Person angegeben.⁸⁹ Es wird nicht die absolute Nennungshäufigkeit als Vergleichsgröße gewählt, da die Anzahl der Codings pro Fall sehr variiert (Minimum 241, Maximum 616). Durch die Angabe der relativen Nennungshäufigkeit können pro Subkategorie verschiedene Personen miteinander sowie verschiedene Subkategorie hinsichtlich ihres Auftretens untereinander verglichen werden.⁹⁰ Daraus können mit Einschränkung Rückschlüsse auf die wahrgenommene Relevanz verschiedener Bedingungsfaktoren und deren Einfluss auf das Nutzungsverhalten von Materialien gezogen werden.⁹¹

Darüber hinaus werden die durchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeiten aus dem allgemein angelegten Einstiegsinterview mit denen aus den *stimulated recalls* und dem Abschlussinterview kontrastiert, da letztere stärker reflexiv ausgerichtet sind. Auf diese Weise können nach Wahl (1991) Rückschlüsse auf die Handlungsnähe der Bedingungsfaktoren getätigt werden. Denn es ist zu erwarten, dass in den Reflexionsinterviews vermehrt handlungsnah subjektive Theorien mittlerer und geringer Reichweite verbalisiert werden, wohingegen im Einstiegsinterview vermutlich handlungsf fernere subjektive Theorien großer Reichweite geäußert werden (vgl. Wahl,

⁸⁹Es gibt ein paar Ausnahmen, in denen die relative durchschnittliche Nennungshäufigkeit schwierig zu interpretieren bzw. wenig aussagekräftig ist, weshalb in diesen Fällen auf eine solche Angabe verzichtet wird. Darauf wird an den betreffenden Stellen im Text eingegangen.

⁹⁰Aufgrund des umfangreichen Kategoriensystems fällt die relative Nennungshäufigkeit für einzelne Subkategorien klein aus, weshalb zur besseren Lesbarkeit die Angaben in Promille gemacht werden.

⁹¹Für sehr frei geführte Interviews bzw. bei einer großen Entfernung zu den standardmäßig gestellten Fragen weist Kuckartz (2018) auf eine geringe Vergleichbarkeit der Häufigkeit von Codierungen zwischen verschiedenen Fällen hin. Bei enger geführten Interviews, wie dies in der vorliegenden Studie der Fall ist, kann die Häufigkeit der Vergabe einer Kategorie jedoch durchaus ein Indiz für deren Bedeutsamkeit in Bezug auf das Gesagte gewertet werden.

1991). Allerdings ist die Gegenüberstellung der relativen Nennungshäufigkeiten schwierig zu interpretieren, da es mehrere Erklärungsmöglichkeiten für unterschiedliche Häufigkeiten gibt. Zum einen unterscheiden sich die Interviews hinsichtlich ihrer Leitfäden (bspw. wird lediglich im Einstiegsinterview explizit nach Materialien für das Selbststudium gefragt – offenkundig wird es also in Bezug auf die betreffenden Subkategorien im Einstiegsinterview mehr Nennungen geben). Zum anderen ist es aufgrund des kleinen Stichprobenumfangs nicht sinnvoll, Signifikanzen und Effektstärken zu berechnen, sodass keine statistische Aussage über die Relevanz einer Abweichung gegeben werden kann. Daher werden nur solche Differenzen berichtet, die sich deutlich von zufälligen Schwankungen unterscheiden. Bei der Analyse etablierte sich diesbezüglich eine Abweichung von ca. 10-Promille-Punkten als Richtwert.

Weiterhin ist es offenkundig nicht möglich und auch nicht sinnvoll, an eine konkrete Unterrichtsstunde alle Materialnutzungskriterien, die einer Lehrkraft wichtig sind, anzulegen (bspw. spielt die Aktualität von Materialien mitunter nur zu bestimmten Themenfeldern eine wesentliche Rolle). Abweichungen müssen also nicht grundsätzlich auf Unterschiede in der Reichweite von Vorstellungen hinweisen. Diese Überlegungen werden bei der Interpretation von Abweichungen der durchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeit zwischen dem Einstiegsinterview und den restlichen Interviews einbezogen.

Neben der Analyse von Häufigkeiten werden weiterhin alle zu einer Subkategorie getätigten Aussagen inhaltlich vertieft analysiert, um daraus gegebenenfalls Beweggründe sowie resultierende Konsequenzen oder Maßnahmen abzuleiten. Zu diesem Zweck werden zudem Zusammenhänge mit anderen Subkategorie gesucht, die ebenfalls Hinweise dafür liefern können. Hierzu wird die Funktion *Code-Relations-Browser* unter den *Visual Tools* der Software MAXQDA als Hilfsmittel genutzt, die ausgibt, wie häufig verschiedene Subkategorien gleichen Textstellen zugewiesen wurden (vgl. Abb. 8.1).

Darüber hinaus wurde die aufgestellte Personen-Kategorien-Matrix nach wiederkehrenden Häufigkeitsverteilungen bestimmter Kategorien untersucht, um unabhängig von gleichen Textstellen fallbezogen häufig gemeinsam auftretende Kategorien zu identifizieren. Letzteres ist weiter vom Inhalt entfernt und deutet daher nicht notwendigerweise auf kausale Zusammenhänge hin, weshalb lediglich Hypothesen abgeleitet werden, die mit dem Textmaterial abgeglichen werden. Es kann jedoch nicht immer eine abschließende Klärung der Hypothesen erreicht werden; ist das der Fall, wird darauf im Text verwiesen.

Bei der themenbasierten Ergebnisdarstellung werden zuerst externe Rahmenbedingungen der Unterrichtsplanung als Bedingungsfaktoren der Implementierung von MILQ vorgestellt, da diese auch Einfluss auf die weiteren Bedingungsfaktoren haben. Im Anschluss daran wird auf personenbezogene

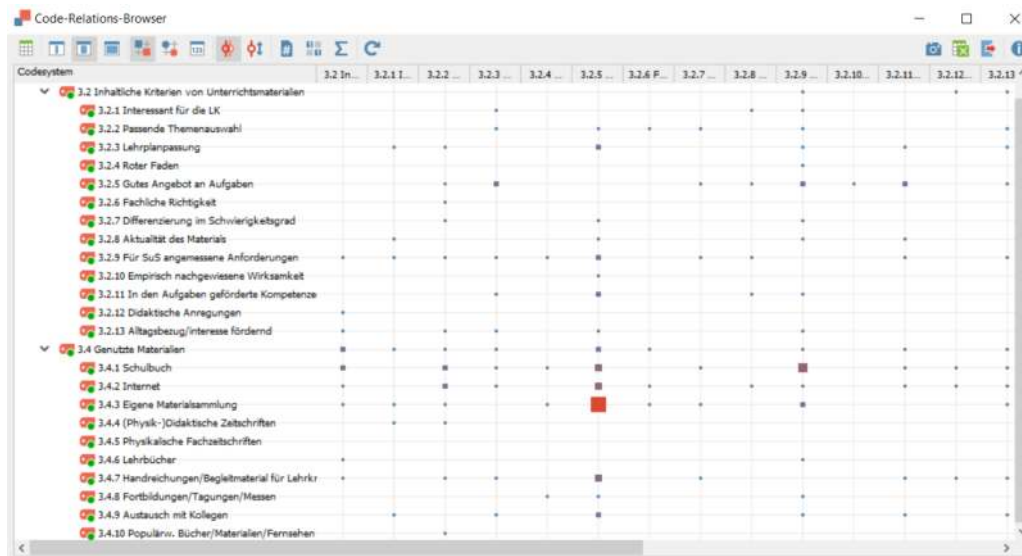


Abbildung 8.1.: Screenshot der Funktion *Code-Relations-Browser* der Software MAXQDA zur Visualisierung von Überschneidungen von Subkategorien im Datenmaterial.

und allgemeine materialbezogene Merkmale eingegangen. Die Einteilung in personenbezogene und materialbezogene Merkmale kann nicht trennscharf vorgenommen werden, da es sich aufgrund der Selbstauskünfte der Lehrkräfte immer um *wahrgenommene* Materialmerkmale handelt, welche durch Personenmerkmale beeinflusst werden (können). Insofern wird bereits bei der Vorstellung dieser Aspekte auf mögliche Zusammenhänge Bezug genommen. Anschließend wird die Wahrnehmung und Nutzung von MILQ beschrieben sowie mit den zuvor vorgestellten Bedingungsfaktoren in Bezug gesetzt. Diese Reihenfolge der Vorstellung erscheint zur Beantwortung der Forschungsfragen zielführend, weicht allerdings von der Nummerierung der Kategorien im Kategoriensystem ab.

8.2.1. Externe Rahmenbedingungen der Materialnutzung

Externe Rahmenbedingungen der Materialnutzung werden mit der Kategorie *2.2 Planungskriterien/Rahmenbedingungen* erfasst. Fast alle der subsumierten Subkategorien werden von über der Hälfte der befragten Lehrkräfte angeführt, was deren Relevanz im Berufsalltag verdeutlicht (vgl. Abb. 8.2). Aus der Darstellung der durchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeit zeigen sich allerdings deutliche Unterschiede in der Häufigkeit des Auftretens (vgl. Abb. 8.3). Demnach sind insbesondere die Subkategorien *2.2.2 Vorgabe durch den Lehrplan/prüfungsrelevant* und *2.2.9 Zur Verfügung stehende Un-*

terrichtszeit die Randbedingungen, die die befragten Lehrkräfte am meisten erwähnen. Im Folgenden wird auf die einzelnen Subkategorien näher eingegangen.

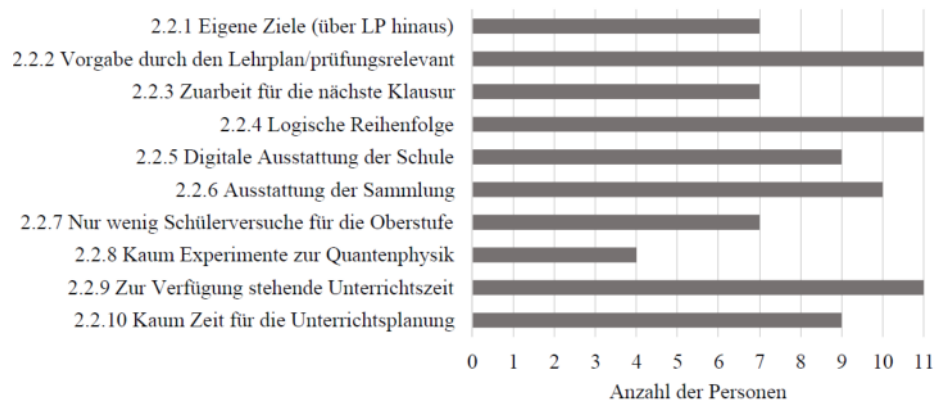


Abbildung 8.2.: Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen Planungskriterium.

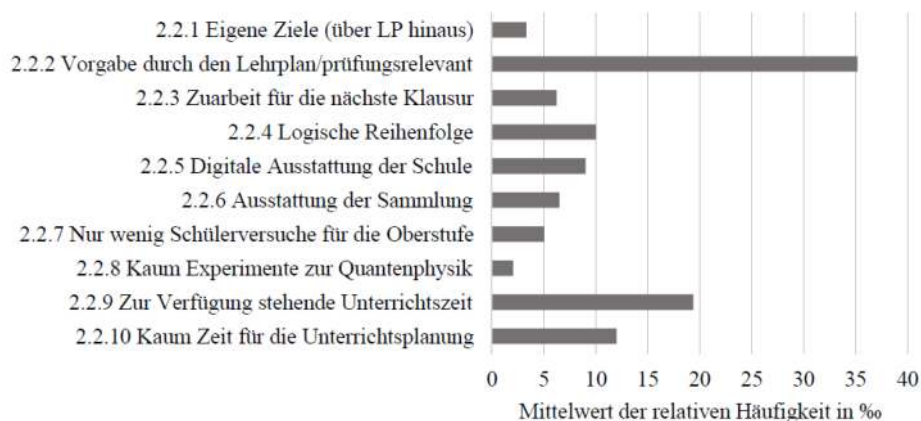


Abbildung 8.3.: Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings pro Person je Planungskriterium.

Interessant ist, dass sieben Lehrkräfte (Peters, Kruse, Schmidt, Schneider, Krüger, Janssen & Kampe) angeben, Ziele über den Lehrplan hinaus zu verfolgen (bspw. die Unbestimmtheitsrelation im Grundkurs, vgl. Abschnitt 8.2.2) (Subkategorie 2.2.1),⁹² obschon sie ihren Angaben zufolge durchaus darauf achten müssen, mit der verfügbaren Unterrichtszeit zur Behandlung

⁹²Hierbei handelt es sich offenkundig nicht um eine externe Rahmenbedingung der Materialnutzung, wie die Überschrift dieses Abschnitts eigentlich suggeriert. Es wird allerdings aus Gründen der Nachvollziehbarkeit für die Leser*innen diese Subkategorie im Zusammenhang mit der übergeordneten Kategorie *2.2 Planungskriterien/Rahmenbedingungen* vorgestellt.

des im Lehrplan vorgegebenen Stoffs hauszuhalten (vgl. Subkategorie 2.2.9).

„Also ich glaube, ich habe *ein ganz gutes Zeitmanagement* dafür. Also ich bin immer, ich schaffe meinen Unterricht, das, was ich mir für das Jahr vornehme und was auch im Schulcurriculum steht, das schaffe ich immer. *Also ich hab immer noch ein bisschen Zeit, um dann so Ergänzungsthemen zu machen* oder mit denen mal irgendwo hinzufahren oder so“ (Krüger, II, 131, Hervorhebungen J.B.).⁹³

Die betreffenden Lehrkräfte geben an, dass ihnen die zusätzlichen Ziele wichtig sind und sie diese daher ihren Schüler*innen vermitteln möchten. Bei einigen Lehrkräften zeichnet sich darüber hinaus ab (auch wenn es die Lehrkräfte nicht explizit benennen), dass sie in ihrem Konzept nicht klar zwischen einem Grund- und einem Leistungskurs differenzieren (Peters, Kruse & Kampe) und daher in ihrem Grundkurs Themen behandeln, die laut Lehrplan für einen Grundkurs nicht vorgegeben sind. Darauf wird im weiteren Verlauf erneut eingegangen.

Die Subkategorie 2.2.2 *Vorgaben durch den Lehrplan/prüfungsrelevant* nennen alle elf Lehrkräfte. Sie weist mit Abstand die höchste durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit auf. Die Relevanz der Vorgaben durch den Lehrplan für die befragten Lehrkräfte wirkt vor dem Hintergrund von vorangehenden Studien wie Bromme und Hömberg (1981), Seel (1997), Vollstädt et al. (1999), Tebrügge (2001) oder Gassmann (2013) überraschend, da diese berichten, dass der Lehrplan in der alltäglichen Unterrichtsplanung eine geringe Rolle einnimmt und von vielen Lehrkräften eher kritisch gesehen wird (anders bei Härtig, Kauertz & Fischer, 2012). In Anbetracht der Tatsache, dass im vorliegenden Forschungsvorhaben – im Gegensatz zu den zuvor angeführten Studien, die primär Lehrkräfte der Sekundarstufe I untersuchten – Lehrkräfte von Oberstufen-Physikkursen in Vorbereitung auf das Zentralabitur betrachtet werden, wirkt eine enge Orientierung an den Lehrplanvorgaben jedoch schlüssig (vgl. Weber, 2018). Die Annahme, dass das bevorstehende Zentralabitur die Lehrplanorientierung verstärkt, bestätigt folgende Aussage:

„Also wenn klar ist, *keiner wählt, schreibt bei mir Abi im Grundkurs, dann würde ich da wahrscheinlich auch ein bisschen gelassener herangehen*. [...] Aber da ist halt immer so ein bisschen der Lehrplan im Nacken“ (Meyer II, 97).

Der Grad der Orientierung am Lehrplan ist bei den befragten Lehrkräften jedoch unterschiedlich stark ausgeprägt und reicht von an den im Lehrplan

⁹³Im weiteren Verlauf wird nicht mehr darauf hingewiesen, dass Hervorhebungen bei Zitaten von Probanden durch Kursivschreiben durch die Autorin vorgenommen wurden.

vorgegebenen Schlüsselexperimenten „dran entlang hangeln“ (Kampe, I1, 44) bis hin zu „Mut zur Lücke“ (Krüger, I1, 28). In diesem Zusammenhang fällt auf, dass vier der fünf befragten Grundkurs-Lehrkräfte (Meyer, Janssen, Kampe & Schneider) und einer der drei befragten Leistungskurs-Lehrkräfte (Schmidt) aus NRW die Umstellung des Kerncurriculums in NRW 2014 thematisieren.⁹⁴ Diese Umstellung scheint die genannten Lehrkräfte zu beschäftigen und ruft verschiedene Einschätzungen hervor:

- „[D]ie Reihenfolge hat Vorteile, hat Nachteile [. . .]. Man könnte jetzt Elektronen und, also erst nur Licht als Welle und nur Elektronen und dann Licht als Teilchen. Dann umgeht man so ein bisschen das E-Feld-Problem, *aber da finde ich es lieber schlüssig, erst Licht zu verstehen, dann Teilchen, Elektronen zu verstehen, als das dann noch mehr durcheinander zu schmeißen*“ (Meyer I2, 18).
- „Ich sage mal, es hat beides Vor- und Nachteile, ne? Ehm, sicherlich ist es ganz schön, wenn man mal einen bisschen anderen Beginn mit Licht, ne? Also Welleneigenschaft. *Aber wenn man dann in die Quantenphysik möchte, muss man das Elektron besprochen haben.* Also muss ich es irgendwann einmal //I: Ja. Und dann besser da.// Genau. Entweder mache ich es so wie früher, dass ich erst das Elektron auseinander nehme mit allen Konsequenzen und mache dann Licht, aber dann bin ich wieder bei meinem Lehrplan. *Also ich glaube, die eierlegende Wollmilchsau gibt es nicht*“ (Janssen, SR1, 24).
- „So ein *Blödsinn*“ (Schmidt, I2, 6).

Interessant ist, dass die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit dieser Subkategorie im Einstiegsinterview mit 47 %₀ deutlich höher ausfällt als in den restlichen drei Interviews (27 %₀). Dieser Befund könnte darauf hinweisen, dass dieser Subkategorie eine subjektive Theorie mittlerer Reichweite (vgl. Wahl, 1991) zugrundeliegt, die in konkreten Handlungssituationen von anderen Vorstellungen überlagert wird. Es könnte allerdings auch bedeuten, dass der Lehrplan insbesondere zur Reihenplanung und weniger zur Planung einzelner Stunden hinzugezogen wird.

Das wahrgenommene Erfordernis der Vorbereitung auf das Zentralabitur spiegelt sich teilweise ebenfalls in der Subkategorie *2.2.3 Zuarbeit für die nächste Klausur* wider. Diese Subkategorie wird von sieben Lehrkräften (Peters, Lenz, Leinert, Krüger, Lücking, Kampe & Meyer) genannt. Dieses Vorgehen geht teilweise mit einer Tendenz von *teaching to the test* bzw. einer kalkülorientierten Haltung einher:

⁹⁴Die Quantenphysik wurde im Lehrplan von der Q2 (12. Klasse) auf den Beginn der Q1 (11. Klasse) verschoben (hierbei handelt es sich allerdings lediglich um eine Empfehlung und keine Vorgabe). Es wurden weiterhin 25 Experimente als Schlüsselexperimente für die Qualifikationsphase verbindlich vorgegeben (KLP NRW, 2014).

„Ansonsten, was ich sehr stark benutze, gerade wenn es *in Richtung einer Klausur* geht, eh *alte Abiturklausuren*, und zwar nicht nur von NRW, sondern über den Stark-Verlag hat man Zugriff auf andere Bundesländer“ (Lücking, I1, 79).

Ferner nennen viele der befragten Lehrkräfte die Subkategorien *2.2.4 Logische Reihenfolge* (alle Lehrkräfte), *2.2.5 Digitale Ausstattung der Schule* (alle außer Schmidt & Janssen) und *2.2.6 Ausstattung der Sammlung* (alle außer Lenz), allerdings mit einer geringen relativen Nennungshäufigkeit. Das kann bedeuten, dass diese Aspekte einen geringeren Stellenwert in der Unterrichtsvorbereitung einnehmen. Möglich ist aber auch, dass sie so grundlegende Voraussetzungen darstellen, dass sie nicht immer von den Lehrkräften wiederholt werden, da sie als selbstverständlich angesehen werden. Diese Interpretation erscheint zumindest in Bezug auf die Ausstattung der Sammlung plausibel. Weiterhin ist zu vermuten, dass die technische Ausstattung der Schule für den Einsatz digitaler Medien stark handlungsleitend ist, da diese Subkategorie in den Stimulated-Recall-Interviews und im Abschlussinterview wesentlich häufiger als im Einstiegsinterview genannt wird (13 % bzw. 5 %).

Die Subkategorien *2.2.7 Nur wenig Schülerversuche für die Oberstufe* und *2.2.8 Kaum Experimente zur Quantenphysik* werden im Vergleich zu den anderen Subkategorien von eher wenigen Lehrkräften angegeben ($N = 7$ bzw. 4). Beide Subkategorien zusammengenommen werden allerdings von neun Lehrkräften (alle außer Leinert & Kampe) genannt – was insofern als wahrgenommener Mangel an möglichen Realexperimenten für die Quantenphysik interpretiert werden kann (vgl. Weber, 2018). Es ist allerdings anzunehmen, dass dieser Aspekt in konkreten Handlungssituationen weniger relevant ist, da die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit zumindest für die Subkategorie *2.2.7 Nur wenig Schülerversuche für die Oberstufe* im Einstiegsinterview mit 11 % wesentlich höher ausfällt als in den restlichen Interviews (1 %).

Die Subkategorie *2.2.9 Zur Verfügung stehende Unterrichtszeit* wird von allen teilnehmenden Lehrkräften angeführt und weist die zweithöchste durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit auf. Die teilnehmenden Lehrkräfte geben an, die zur Verfügung stehende Unterrichtszeit auf der Grundlage der Lehrplanvorgaben einzuteilen, damit alle zentralen Themen hinreichend bearbeitet werden können. Das gelingt einigen Lehrkräften besser als anderen (bspw. fragt sich Meyer (I1, 41): „Was kann ich weglassen?“). Die zur Verfügung stehende Unterrichtszeit wird nach Angaben der Lehrkräfte häufig durch externe Bedingungen wie Feiertage, Kursfahrten o.Ä. zusätzlich limitiert. Die betreffenden Lehrkräfte führen diesen Aspekt wesentlich häufiger im Einstiegsinterview (24 %) als in den restlichen Interviews an (15 %). Das

könnte bedeuten, dass dieser Aspekt in der Regel in Bezug auf die Reihenplanung und weniger für die Planung einzelner Unterrichtsstunden diskutiert wird.

Darüber hinaus ist bemerkenswert, dass neun Lehrkräfte (alle außer Kampe & Schmidt) angeben, dass sie kaum Zeit für die Unterrichtsplanung einräumen können (bzw. wollen) (Subkategorie 2.2.10). Diese Subkategorie hat zudem die dritthöchste durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit, was ihren Stellenwert unterstreicht.

Dieser Umstand scheint nach Angaben der betreffenden Lehrkräfte vor allem in zusätzlichen Tätigkeiten an der Schule begründet zu liegen: Abiturvorbereitung (Peters), Fachleitertätigkeit (Janssen), die Ausarbeitung eines neuen schulinternen Lehrplans aufgrund der anstehenden Umstellung auf G9 (Lücking), die Organisation von Klassenfahrten (Lücking), das Schreiben von Gutachten für Referendar*innen (Lücking), das Verfassen von Beiträgen für das Jahrbuch der Schule (Lücking) oder der Korrekturaufwand für Klausuren (Lücking). Lenz nennt die kurzfristige Übernahme des Leistungskurses als Vertretungslehrkraft. Nur eine Person (Meyer) nennt private Gründe (zwei kleine Kinder) für mangelnde zeitliche Ressourcen bei der Unterrichtsvorbereitung.

Nach Angabe der betreffenden Lehrkräfte resultieren daraus die folgenden Konsequenzen:

- Aufwändige Versuche werden nicht durchgeführt oder während des Unterrichts aufgebaut („Die Schüler sollen ruhig sehen, wie viel Aufwand dahinter steckt“, Krüger, II, 89).
- Es wird mit Lehrkräften der Parallelkurse zusammengearbeitet (z.B. für die Erstellung von Klausuren).
- Es werden keine schriftlichen Unterrichtsverläufe erstellt.
- Es werden gezielt bestimmte Themenbereiche (z.B. die Quantenphysik) für eine vertiefte Auseinandersetzung herausgegriffen und andere mit einem minimalen Arbeitsaufwand vorbereitet.
- Lernaufgaben oder differenzierende Aufgaben werden nicht oder nur für ausgewählte Kurse erstellt; für alle weiteren Klassen muss man „was aus dem Ärmel schütteln“ (Lenz, SR 1, 29).

Die konkreten Auswirkungen auf die Materialnutzung werden zu einem späteren Zeitpunkt näher beleuchtet. Die mangelnden zeitlichen Ressourcen für die Unterrichtsvorbereitung werden oftmals als belastend und unbefriedigend wahrgenommen:

„Und dann immer noch das *schlechte Gewissen* haben: „*Ich habe aber eigentlich immer noch nicht alles gemacht, wie es sollte.*“ Und unsere Vorbereitung war letztes Schuljahr ganz mies“ (Lücking, I2, 92).

Wenig Zeit für die Unterrichtsplanung stellt offenkundig einen hemmenden Faktor für die Implementierung fachdidaktischer Innovation dar, da die Auseinandersetzung mit neuen Handlungspraktiken Zeit in der Unterrichtsvorbereitung benötigt (vgl. Abschnitt 3.3.3):

„Also, sagen wir mal so, es kommt natürlich auch immer so auf *die persönliche Belastung* gerade an. *Man hat mal Phasen, da hat man dann auch wieder mehr Zeit*, sich um diese eine Sache mal ein bisschen stärker wieder drum zu kümmern. Ja und dann probiere ich gerne was Neues auch mal wieder aus“ (Kruse, I1, 110).

Weitere 42 Aussagen zu Rahmenbedingungen konnten keiner Subkategorie zugeordnet werden. Dazu zählen u.a. die Berücksichtigung von Referendar*innen im eigenen Unterricht und von Ferien, dem Fehlen vieler Schüler*innen oder räumliche Gegebenheiten (bspw. gestaltet sich im Hörsaal eine Gruppenarbeitsphase schwierig).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass verschiedene Rahmenbedingungen die Unterrichtsvorbereitung der teilnehmenden Lehrkräfte beeinflussen. Dabei können direkte Zusammenhänge mit der Materialnutzung identifiziert werden. Insbesondere die Vorgaben durch den Lehrplan scheinen aufgrund der Vorbereitung auf das Zentralabitur eine entscheidende Rolle zu spielen. Wider Erwarten vor dem Hintergrund vorausgehender Studien werden Faktoren wie die Unterstützung durch die Schulleitung, der Zusammenarbeit des Kollegiums sowie Erwartungen von Eltern oder Schüler*innen selten bis gar nicht erwähnt (vgl. Abschnitt 3.3.3). Trotz des Ausbleibens von Aussagen diesbezüglich können diese Faktoren womöglich eine unterschwellige Bedingung darstellen (das Ergebnis wäre vermutlich anders ausgefallen, wenn dazu im Interview explizit nachgefragt worden wäre). Eine andere Interpretation dieses Umstands lautet, dass die Unterrichtsvorbereitung so sehr durch Kontextfaktoren auf Makroebene (wie etwa Lehrplanvorgaben oder systemischen Faktoren wie der Arbeitsbelastung von Lehrkräften⁹⁵) geprägt ist, dass lediglich Kontextfaktoren auf Meso- und Mikroebene, die einen direkten Einfluss auf das Unterrichtsgeschehen haben (wie etwa die

⁹⁵Eine Studie des Deutschen Philologenverbands (2020) stützt die Annahme, dass die Arbeitsbelastung von Lehrkräften eine systemische Schwierigkeit darstellt, da ein Großteil der über 176.000 befragten Gymnasiallehrkräfte angab, über 40 Stunden in der Woche zu arbeiten. Nichtsdestotrotz spielen vermutlich auch Faktoren auf Mikro- und Mesoebene in die Arbeitsbelastung von Lehrkräften eine Rolle.

Ausstattung der Sammlung), als weitere Randbedingungen wahrgenommen werden.⁹⁶

8.2.2. Personenbezogene Merkmale

8.2.2.1. Vorstellungen zum Lehren und Lernen

Die Subkategorien zur Kategorie 1. *Vorstellungen zum Lehren und Lernen* werden unter Berücksichtigung aller Interviews pro Person vergeben. Wenngleich diese Subkategorien nicht für einzelne Textstellen vergeben werden, werden exemplarisch einschlägige Zitate angeführt.

Neun der elf Lehrkräfte können als 1.1 *Schüleraktivierend* eingestuft werden. Es fällt daher auf, dass jeweils nur eine Lehrperson als kaum schüleraktivierend (Schmidt) bzw. nicht entscheidbar (Peters) eingeschätzt wird (vgl. Abb. 8.4). In beiden Fällen handelt es sich um Quereinsteiger – inwiefern dies einen Wirkzusammenhang darstellen könnte, wird in den Fallbeschreibungen diskutiert (vgl. Unterkapitel 8.3).

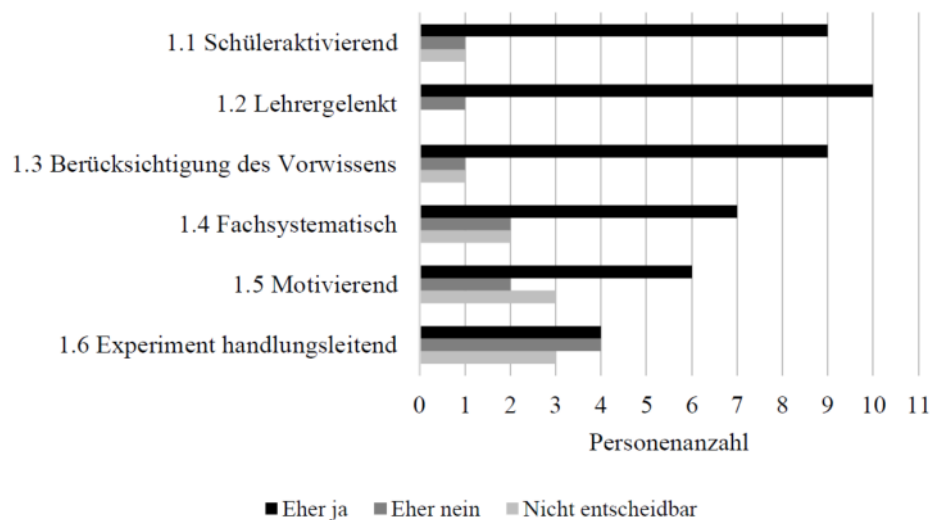


Abbildung 8.4.: Anzahl der Personen zu den jeweiligen Vorstellungen zum Lehren und Lernen.

Als Maßnahmen für die Aktivierung von Schüler*innen werden Schülerexperimente bzw. Simulationen, das Nachspielen von Experimenten im Sinne eines theaterpädagogischen Ansatzes, die Bearbeitung von Aufgaben sowie Rechercharbeiten bzw. Gruppenarbeitsphasen aufgezählt. Begründet wird

⁹⁶Schrader et al. (2020) unterteilen sowohl die Handlungsebene der Implementierung als auch wirkende Kontextfaktoren in Makro-, Meso- und Mikroebene. Sie diskutieren allerdings nicht, inwieweit sich die Kontextfaktoren der verschiedenen Ebenen auf eine konkrete Handlungsebene auswirken. An dieser Stelle besteht noch weiterer Forschungsbedarf.

eine Schüleraktivierung (a) aus motivationaler Perspektive (Methodenvarianz als Abwechslung für die Schüler*innen sowie Autonomieerleben und soziale Eingebundenheit als Motivationsförderung), (b) zur Förderung kommunikativer Kompetenzen und (c) aufgrund eines konstruktivistischen Ansatz bzw. zur kognitiven Aktivierung (Vorwissen aktivieren, Wissen vernetzen oder Übungsphasen, „wo die Schüler selbst begreifen – in ihrem eigenen Tempo“, Leinert, I2, 106).

Viele der befragten Lehrkräfte wägen dabei bewusst zwischen offenen und angeleiteten Unterrichtsphasen ab, weshalb sich die Subkategorien *1.1 Schüleraktivierend* und *1.2 Lehrergelenkt* nicht gegenseitig ausschließen. Aus der Zusammenhangsanalyse folgt, dass letzteres mit praktischen Gründen wie der zur Verfügung stehende Unterrichtszeit (Subkategorie 2.2.9), Vorgaben durch den Lehrplan (Subkategorie 2.2.2) oder der Zeitersparnis während der Unterrichtsplanung motiviert wird (vgl. van Driel, Beijaard & Verloop, 2001). Weiterhin spielt das vorhandene Experimentiermaterial der Schule (Subkategorie 2.2.6 & 2.2.7) bei der Abwägung der Durchführung von Schülerversuchen bzw. Demonstrationsversuchen eine wichtige Rolle (vgl. Jones & Carter, 2010; Niehaus, 2011). Mehrere Lehrkräfte geben an, dass schüleraktivierende Unterrichtsphasen insbesondere in der Quantenphysik schwierig umzusetzen seien, da es nur wenige Realexperimente gebe und das Thema zu komplex für eigenständige Erarbeitungsphasen sei.

Es treten jedoch auch Gesprächssituationen auf, in denen keine (stichhaltige) Begründung für eine Schüleraktivierung geliefert wird (z.B. die Schüler*innen sollen „gewisse Dinge halt selber machen“, Schneider, I1, 22). Möglicherweise werden die wahren Beweggründe in den Interviews lediglich nicht expliziert, eine fehlende Abwägung verschiedener Optionen könnten aber auch auf eine Activity-first-Haltung (Brown, 1996; Fischler, 2000b; Hofstein & Lunetta, 2004) hindeuten, bei welcher eine Schüleraktivierung mit kognitiver Aktivierung gleichgesetzt wird (vgl. Unterkapitel 2.1) und daher von der betreffenden Lehrkraft als grundsätzlich erstrebenswert angesehen wird. Dementsprechend spiegelt sich die Differenziertheit der Begründung schüleraktivierender Unterrichtsphasen bei einer Zusammenhangsanalyse im Grad der Ausprägung der fachdidaktischen Reflexion der Lehrkräfte wider (Subkategorie 6.1.1). Eine schüleraktivierende Haltung konkretisiert sich zudem in der Materialnutzung, da explizit nach Aufgabenstellungen, Simulationen oder Texten, die die Schüler*innen bearbeiten können, gesucht wird.

Zehn Lehrkräfte (alle außer Schneider) können weiterhin als eher lehrergelenkt (Subkategorie 1.2) eingeordnet werden. Sie schätzen ein lehrergelenktes Unterrichtsgeschehen im Gegensatz zu schüleraktivierenden Arbeitsphasen als zielführend und effektiv ein – da die Schüler*innen so nicht „um den heißen Brei reden und keiner auf den Plan kommt“ (Schmidt, I1, 85). Wenngleich der Großteil der teilnehmenden Lehrkräfte als sowohl schüleraktivie-

rend als auch lehrergelenkt eingestuft werden, schätzen viele der Lehrkräfte ihren Unterricht – insbesondere in der Oberstufe – als überwiegend als frontal ein:

- „Und da ist eindeutig *das Übergewicht im eh Frontalen* schon. Ich würde sagen, so 60, 70 Prozent machen wir im Unterrichtsgespräch insgesamt“ (Schmidt I1, 114).
- „So ein *geleitetes Unterrichtsgespräch ist in der Oberstufe*, glaube ich, für mich *dominierend*. Das mache ich sehr oft“ (Krüger, SR2, 41).

Das Einbauen von schüleraktivierenden Unterrichtsphasen scheinen mehrere Lehrkräfte als Notwendigkeit für Abwechslung, aber als hinderlich für einen zielführenden Unterricht anzusehen:

- „*Partnerarbeit, ja, wenn es sein muss*, aber ja. Ja, das ist, nee“ (Peters, I1, 88).
- „Wir haben Oberstufe, *Unterrichtsgespräch. Lehrervortrag* zum Teil natürlich auch. Muss klar sein, *weil Schüler die Physik nicht selbst entdecken*“ (Peters, SR1, 70).

Es ist anzunehmen, dass hierbei transmissive bzw. lernzielorientierte Vorstellungen überwiegen (vgl. Fischler, 2000b).

Eine Bevorzugung eines lehrergelenkten Vorgehens wirkt sich insofern auf die Materialnutzung aus, als dass weniger Materialien für den konkreten Einsatz im Unterricht (wie etwa Arbeitsblätter) benötigt werden (höchstens vorgefertigte Tafelbilder o.Ä.).

Eine Berücksichtigung des Vorwissens der Schüler*innen (Subkategorie 1.3) wird ebenfalls vom Großteil der Stichprobe ($N = 9$) als wichtig erachtet. Lediglich für eine Lehrkraft (Lenz) scheint die Berücksichtigung des Vorwissens eine untergeordnete Rolle zu spielen und die Einstellung einer weiteren Lehrkraft (Schmidt) konnte aufgrund von gegensätzlicher Aussagen nicht klassifiziert werden. Eine Berücksichtigung des Vorwissens zeichnet sich durch eine gewisse Flexibilität der betreffenden Lehrkräfte aus, im Unterrichtsgeschehen ad hoc auf Verständnisschwierigkeiten der Schüler*innen einzugehen. Weiterhin führen mehrere Lehrkräfte an, dass ihnen das Aufgreifen des Vorwissens (z.B. zu Beginn einer Unterrichtsstunde) wichtig ist, um den Schüler*innen den roten Faden einer Unterrichtsreihe aufzuzeigen. Limitierend scheint jedoch häufig die zur Verfügung stehende Unterrichtszeit (Subkategorie 2.2.9) zu sein. Lenz gibt als Grund für eine geringe Berücksichtigung des Vorwissens eine sehr heterogene Kurszusammensetzung an:

„Ich habe gerade in dem Kurs *eine unglaublich breite Streuung an Vorwissen* und ich habe auch einige Schüler, die lesen halt schon fünfzig Seiten im Buch weiter und beschäftigen sich auch damit, weil es sie interessiert. *Deswegen finde ich das sehr schwierig in so einem Kurs, auf das Vorwissen //I: Ja. Alle zu erreichen.// der Schüler einzugehen auch*“ (Lenz, I1, 52).

Ferner kann das beschriebene Vorgehen von sieben Lehrkräften (Peters, Schmidt, Lenz, Schneider, Krüger, Lücking & Kampe) als fachsystematisch (Subkategorie 1.4) bezeichnet werden. Dies spiegelt sich primär in der Reihenplanung wider. Die Intention der betreffenden Lehrkräfte ist dabei, „dass es sich schön strukturiert aufeinander aufbaut“ (Schmidt, I1, 152), ein roter Faden und eine logische Abfolge erkennbar sind sowie auf ein gewisses Ziel hingearbeitet wird. Dazu legen einige Lehrkräfte sehr bewusst die Themenabfolge fest:

„Ich nehme mir dieses [Schul-]Buch und *gehe Seite für Seite durch und bringe die Seiten in eine vernünftige Reihenfolge*. So. Und habe das dann wieder gemacht, da ist eine Tabelle daraus geworden, wo dann drin steht, so, wir fangen an Seite 15 bis Seite 21, dann machen wir Seite 35 bis 41, dann machen wir Seite 17 bis 17 oder, was weiß ich, was. Und diese Tabelle haben die Kollegen, die Tabelle haben die Schüler. *Und da wissen sie, dieses Buch können wir nehmen, wir müssen nur eine andere Reihenfolge nehmen, um es zu lesen. [...]* *Und dann ist die Welt in Ordnung* und man kann da vernünftig mit arbeiten“ (Schmidt, I1, 166).

Andere Lehrkräfte handeln hingegen eher intuitiv fachsystematisch:

„*Weil das einfach für mein Gefühl nicht dahin hingehört* (beide kichern). Ich bin da mehr so der Gefühlstyp. Ich versuche die Reihenplanung so zu machen wie mir das, ehm, //I: Logisch erscheint, wahrscheinlich.// logisch erscheint. Und wie mir das *organisch erscheint*“ (Lenz, I2, 19).

Im Gegensatz dazu agieren die restlichen vier Lehrkräfte (Kruse, Leinert, Janssen & Meyer) vermehrt aus einem lernerorientierten Ansatz heraus:

„Normales Vorgehen war ja: Erst die Welle kennenlernen, Teilchen kennenlernen, dann auf einmal gibt es die große Verwirrung. Es ist beides. Muss es das überhaupt sein? Kann man, muss man auf dieses Duell zwischen den beiden verweisen oder kann man einfach den Konflikt selber entstehen lassen bei den Schülern? *Das heißt, wann kommt der Zeitpunkt, das zu diskutieren, ob das jetzt eine Welle oder ein Teilchen ist oder dass dieser Dualismus geschaffen werden muss*. Das wäre Nummer eins, das heißt, Konflikte vielleicht vermeiden oder bewusst herbeiführen, was ist besser? *Jetzt habe ich ja die Reihenfolge mit diesem Kontext geändert, indem ich Quantenobjekt Elektron, Quantenobjekt Photon gewählt habe* (Leinert, I1, 76).

Allerdings können Kruse und Leinert aufgrund gegensätzlicher Aussagen lediglich dem Ausprägungsgrad *nicht entscheidbar* zugewiesen werden.

Weiterhin werden sechs Lehrkräfte (Schneider, Leinert, Janssen, Krüger, Kampe & Meyer) bezüglich der Subkategorie 1.5 als *eher motivierend* eingestuft. Die betreffenden Lehrkräfte realisieren dies durch Alltagsbezüge bzw. Kontextorientierung, den Einbezug der Schüler*innen (Subkategorie 1.1), einen „ziemlich lockeren Unterrichtsstil“ (Krüger, I1, 56) oder „eine Physiks-how“ (Janssen, SR1, 90). Dies scheint sich auch auf die Materialnutzung auszuwirken:

„Und solange die Schüler mir signalisieren, dass sie zumindest gerne, zumindest was man „gerne“ beim Physikunterricht sagen kann, zum Unterricht kommen, glaube ich, liege ich da nicht falsch, ne? Schlimmer wäre das, wenn man mir zurückspiegelt: „Oh, ne. Ist eine Katastrophe!“ Dann müsste ich an mir arbeiten, aber solange ich recht gute Ergebnisse erziele, dass die ihre Prüfungen ganz gut bestehen- //I: Ja und eben auch Freude haben.// *und auch Freude daran haben, sehe ich keine Veranlassung, mich irgendwelchen didaktischen Bücher hinzugeben* und zu sagen, ich muss meinen eigenen Unterricht (unverständlich)“ (Janssen, SR2, 56).

Weitere Auswirkungen auf die Materialnutzung werden zu einem späteren Zeitpunkt diskutiert.

Aufgrund mangelnder Aussagen zu dieser Subkategorie konnten die Lehrkräfte Peters, Kruse und Lenz nicht eingeordnet werden. Die verbleibenden beiden Lehrkräfte (Schmidt & Lücking) sprechen sich zwar nicht explizit gegen einen motivationsfördernden Unterricht aus, allerdings wird an Äußerungen wie der folgenden deutlich, dass sie diesbezüglich kaum Maßnahmen ergreifen:

B: „Ist schon okay. Also kann ich nicht meckern. *Und die, die nicht motiviert sind, halten meist den Mund.*“

I: „Dann stören sie immerhin nicht (lacht).“

B: „*Da stören sie nicht, ne? Und dann ist das auch okay*“ (Schmidt, I1, 49).

Es fällt auf, dass die beiden Lehrkräfte Peters und Schmidt (beide Quereinsteiger) weder als schüleraktivierend (Subkategorie 1.1) noch als motivierend (Subkategorie 1.5) eingestuft wurden. Diese Beobachtung wird im weiteren Verlauf erneut aufgegriffen.

Für die vier Lehrkräfte Peters, Kruse, Lenz und Leinert ist ferner das Experiment bei der Unterrichtsplanung handlungsleitend (Subkategorie 1.6). Diese Lehrkräfte beschreiben Experimente als Ausgangspunkt für ihre Stundenplanung und ihre Unterrichtsreihe als Abfolge von Experimenten:

- I: „Was waren für Sie die *Schlüsselstellen* in der Unterrichtsreihe?“
B: „Mmh, Schlüsselstellen. Klar, der erste, der Versuch, der, ach, wie heißt der nochmal? Der vor dem Photoeffekt. //I: Hallwachs?// Hallwachs, genau, *der Hallwachs-Effekt ganz zentral, natürlich die Vakuum-Photozelle*. Ehm nachgeschaltet dann das mit den Leuchtdioden, wo die Schüler auch mal nach vorne kommen können“ (Peters, I2, 44f.).
- „Ich versuche halt auch anhand von diesen zentralen Experimenten, die wir in der Oberstufe haben, auch so ein bisschen die historische Entwicklung und den Gedankengang in der Physik nachzuvollziehen. *Und deswegen finde ich, dass das Experiment zentral ist. Von dem geht alles aus*. Ich habe ein Phänomen und anhand dieses Phänomens entwickeln sich ja meistens Theorien oder ich habe eine Theorie und ich belege es oder widerlege es anhand eines Experimentes. [...] *Und dann versuche ich von diesem Experiment aus eben* //I: Ja, den Rest sozusagen zu erarbeiten, ne?// *den Rest des Unterrichtes zu entwickeln, genau*“ (Lenz, I1, 44).
- „Jetzt hier in der Q1 im Grundkurs bin ich eher auf diese *25 Schlüsselexperimente* bedacht. *Das war so meine Struktur*“ (Leinert, I1, 12).

Obwohl durch die Vorgabe des Kernlehrplans NRW von 25 Schlüsselexperimenten für den Grundkurs für die betreffenden Lehrkräfte das Experiment im Fokus steht (KLP NRW, 2014), sind Unterschiede in der Benennung der Unterrichtsziele oder bezüglich der Einbettung von Experimenten zu erkennen. Hier äußert sich eine Ablauforientierung gemeinsam mit einer Aktivitätsorientierung, die bereits Fischler (2000b) beobachtete. Dementsprechend hängt eine wenig reflektierte handlungsleitende Vorstellung zum Experiment mit einer oberflächlichen fachdidaktischen Reflexion zusammen (Subkategorie 6.1.1).

8.2.2.2. Vorgehen bei der Unterrichtsplanung

Der Subkategorie 2.1.1 *Didaktische Innovationsbereitschaft* werden vier Lehrkräfte (Kruse, Schneider, Leinert & Janssen) mit einer hohen Ausprägung zugeteilt (vgl. Abb. 8.5). Aus deren Äußerungen geht eine Offenheit für die Auseinandersetzung und Umsetzung neuer didaktischer Ansätze für eine bessere Unterstützung der Schüler*innen hervor.

I: „Und was ist deine Motivation, an der Studie teilzunehmen?“

B: „Ja, weil ich einfach, ja, man rührt ja immer so ein bisschen *im eigenen Brei*, ne. Also ich habe jetzt Quantenphysik schon ein paar Mal auch unterrichtet. Und man hat natürlich so sein Konzept und man hat auch so seine Materialien. Aber ich denke, immer so ein bisschen mal wieder *ein bisschen Input von außen oder so ein paar Anregungen von außen*, da hoffe ich einfach, *dass man da auch so seinen Stil, den man so hat, vielleicht auch nochmal ein*

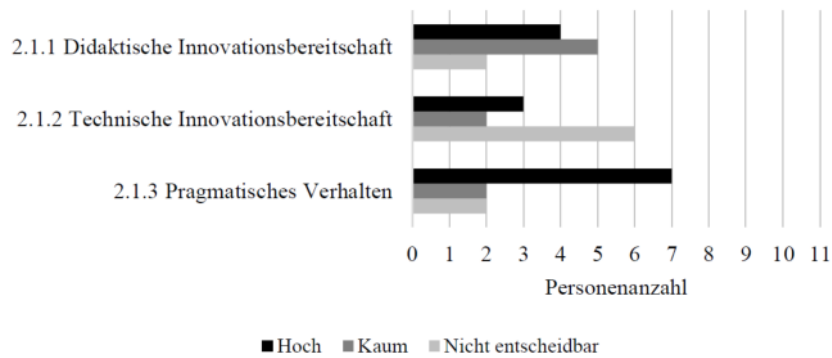


Abbildung 8.5.: Anzahl der Personen zu den jeweiligen Vorgehensweisen in der Unterrichtsplanung.

bisschen überarbeitet, verändert, also vielleicht mal was Neues ausprobiert“ (Kruse, I1, 5f.).

Eine hohe didaktische Innovationsbereitschaft lässt sich an Aspekten wie selbstorganisiertem Lernen, dem Ausprobieren verschiedener Reihenfolgen von Unterrichtsthemen oder Kontextorientierung festmachen. Um neue Anregungen zu erlangen, greifen die betreffenden Lehrkräfte u.a. auf unterschiedliche Materialien zurück (vgl. Abschnitt 8.2.3). Fünf Lehrkräfte (Peters, Schmidt, Krüger, Lücking & Kampe) sind ihren Ausführungen zufolge hingegen wenig didaktisch innovationsbereit und zwei weitere (Meyer & Lenz) können nicht eindeutig zugeordnet werden. Dies scheint vor allem auf ein pragmatisches Verhalten (Subkategorie 2.1.3) zurückzuführen zu sein, was im weiteren Verlauf genauer betrachtet wird. Es ist anzunehmen, dass die didaktische Innovationsbereitschaft große Auswirkungen auf die Implementierung fachdidaktischer Innovation hat.

Die drei Lehrkräfte Peters, Schmidt und Janssen können als technisch innovationsbereit (Subkategorie 2.1.2) beschrieben werden. Sie probieren gerne neue Experimente aus oder investieren Zeit in die Entwicklung von Schülerexperimenten, wobei die technische Seite des Experiments für sie im Vordergrund steht:

*„Auf einmal fällt einem was ein. Der Quantenradierer kam dann nachts mal so hoch. Dann habe ich gedacht: Ach. Und dann habe ich mir überlegt: *Ja, das musst du jetzt aber bald mal bauen.* Und dann hatte dann, hatte ich mir dann auch schon Polarisationsfilter bestellt, aber ich hatte noch welche gefunden, bei mir beim Aufräumen bei mir samstags. [...] Und dann habe ich gedacht: *Ich habe ja jetzt alles, dann mach ich das jetzt mal eben“* (Peters, I2, 67).*

Im Gegensatz dazu können Krüger und Lücking als wenig technisch innovationsbereit eingestuft werden. Als Gründe nennen sie wenig Zeit für die Unterrichtsplanung (Subkategorie 2.2.10) oder die Orientierung an den zen-

tralen Abiturprüfungen (Subkategorie 2.2.2) mit einer einhergehenden Kalkülorientierung.

„Also da bin ich jetzt *nicht der Typ, der drei Tage rumtüftelt*, ja, oder noch ein zweites Beispiel: Mein Kollege versucht seit einer Woche, wir haben ja noch mehr Physik-Kollegen, seit einer Woche die ideale Entladekurve am Kondensator hinzukriegen und ärgert sich, dass über das Messgerät ein Teil der Entladung. *Das ist völlig Wurst. Das habe ich den Schülern so verkauft, das ist die Entladung und das haben die mir so abgenommen und damit war das gut*“ (Krüger, II, 54).

Die restlichen sechs Lehrkräfte (Kruse, Lenz, Schneider, Leinert, Kampe & Meyer) können aufgrund fehlender Äußerungen diesbezüglich nicht näher charakterisiert werden. Eine hohe didaktische Innovationsbereitschaft und eine hohe technische Innovationsbereitschaft hängen nicht unmittelbar zusammen, sodass die beiden Subkategorien folglich nicht zu einem gemeinsamen Konstrukt *Innovationsbereitschaft* zusammengefasst werden können.

In Bezug auf Subkategorie 2.1.3 kann ein Großteil der Stichprobe (Peters, Schmidt, Lenz, Krüger, Lücking, Kampe & Meyer) als pragmatisch im Vorgehen bei der Unterrichtsplanung charakterisiert werden (vgl. Kahlert, Hedtke & Schwier, 2000; Breuer, Vogelsang & Reinhold, 2018b). Zwei Personen (Schneider & Leinert) werden als weniger pragmatisch eingestuft. Kruse und Janssen können aufgrund widersprüchlicher Aussagen nicht eindeutig eingeordnet werden. Insgesamt weisen alle befragten Lehrkräfte pragmatische Züge auf, sie unterscheiden sich jedoch hinsichtlich der Ausgeprägtheit dieses Verhaltens. Ein stark pragmatisches Verhalten zeichnet sich durch ein effizientes und routiniertes Handeln aus:

I: „Wie machst du das dann, wenn du Unterricht vorbereitest? Machst du dann einmal sozusagen in den Sommerferien //B: *Nein. Nein. Nein. Nein.*// so einen großen Block, wie er hier ist?“

B: „Nein. Ich habe das ja ein paar Mal gemacht, das meiste habe ich im Kopf. Das heißt also, ich mache das jetzt seit zwölf Jahren, *ich könnte mich in die meisten Unterrichtsstunden einfach so reinstellen*“ (Schmidt, II, 145f.).

Dabei wägen viele der betreffenden Lehrkräfte bewusst ab, was sie für sinnvoll bzw. notwendig erachten und an welchen Stellen sie gezielt Ressourcen einsparen können:

- „Ich überlege dann, ob ich überhaupt einen Test schreibe irgendwo in einer Klasse, ehm, und wie viel Zeit da noch für eine ordentliche Unterrichtsvorbereitung bleibt. *Weil das ist die einzige Stellschraube, wo mir jetzt zuhause keiner auf die Finger guckt.* //I: Ein bisschen, ja, daran drehen kann.// *Solange der Unterricht halbwegs läuft* und sie sich nicht beschweren: „Herr Lücking [anonymisiert] schiebt jetzt jede Stunde nur einen Film rein und

wir machen ja gar nichts.“ Ehm juckt das ja auch erst einmal keinen, sage ich mal, ne“ (Lücking, I2, 88).

- „*Ich mache nicht viel Unterrichtsvorbereitung. //I: Ja?// Nein, also ich weiß, morgen hab ich Physik elf, Physik zehn, Mathe sieben. Da weiß ich, wo ich bin, so, mache ich wahrscheinlich, bis auf die Stunde, die ich morgen zeigen will, mache ich gar nichts mehr*“ (Krüger, I1, 60).

Dabei wird oftmals auch explizit Bezug auf das Abitur genommen (zielorientiertes Vorgehen). Manche Lehrkräfte argumentieren jedoch weniger durchdacht und suchen lediglich eine kurzfristige Entlastung – dies schlägt sich in der fachdidaktischen und unterrichtspraktischen Reflexionstiefe (Kategorie 6.1) der jeweiligen Lehrkräfte nieder (worauf im späteren Verlauf vertieft Bezug genommen wird).

Aus der Zusammenhangsanalyse folgt, dass die als pragmatisch eingestuftten Lehrkräfte in der Regel einen lehrergelenkten Unterricht (Subkategorie 1.2) bevorzugen, da schüleraktivierende Phasen (Subkategorie 1.1) sowohl in der Vorbereitung als auch in der Durchführung als zeitintensiver wahrgenommen werden. Es bestehen Zusammenhänge zwischen einem ausgeprägten pragmatischen Verhalten und den Planungskriterien 2.2.9 *Zur Verfügung stehende Unterrichtszeit* sowie 2.2.10 *Kaum Zeit für die Unterrichtsplanung*. Weiterhin sind deutliche Zusammenhänge zur Materialrezeption und -nutzung zu erkennen:

- I: „Und haben Sie sonst irgendwelche Unterrichtsmaterialien bei der Planung der Stunde //B: Null!// verwendet (lacht)?“
B: „*Null. Nein, null. Null.* Da habe ich im Moment ehrlich gesagt *gar nicht die Zeit dafür*“ (Krüger, SR2, 20f.).
- „Wenn ich jetzt *ohne relativ großen Aufwand* irgendwie eine Erklärung, einen Text, ein Arbeitsblatt übernehmen will, dann muss natürlich das direkt passgenauer sein. Das findet man ja fast nie. *Also wähle ich das so ein bisschen danach aus, wo ich am wenigsten Arbeit mit habe, ne*“ (Kampe, I1, 70).

Auf diesen Befund wird im späteren Verlauf genauer eingegangen. Ein weniger stark ausgeprägt pragmatisches Verhalten zeichnet sich insbesondere darin ab, dass die betreffenden Lehrkräfte viel Zeit in die Unterrichtsvorbereitung investieren, wobei nicht immer notwendigerweise ein konkretes Ziel verfolgt wird, sondern auch allgemein nach Anregungen (vgl. Subkategorie 3.5.1) gesucht wird:

„Genau, also ich suche mir wirklich alles zusammen, was irgendwie da ist, *wie so eine Krake*“ (Leinert, I1, 56).

Dies hängt teilweise mit einer allgemeinen Offenheit für Neues, dem Bedürfnis der Lehrkraft nach Abwechslung bzw. dem Vorbeugen von Langeweile, einem wenig strukturierten Vorgehen sowie dem Bedürfnis nach Adaptivität zusammen. Daher wirkt sich auch dieses Verhalten direkt auf die Materialnutzung aus, da bspw. Materialien selber erstellt werden:

„Also ich kann Ihnen nicht sagen, was ich letztes Jahr gemacht habe, weil ich es mir auch nicht notiere, ne? Sondern ich gucke tatsächlich wirklich individuell und, wenn ich dann ein neues Thema habe, suche ich meine Sachen raus, was ich selber mal gemacht habe. Ob ich was Neues habe oder in einer Zeitschrift gefunden habe und gucke dann halt eben immer wieder nach. [...] Immer mal wieder, man lernt was Neues, guckt, sieht was Neues“ (Janssen, SR1, 39).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das Vorgehen bei der Unterrichtsplanung von äußeren Rahmenbedingungen geprägt ist und sich weiterhin im Nutzungsverhalten von Materialien konkretisiert. Ein pragmatisches Verhalten ist gegenläufig zu einer hohen didaktischen Innovationsbereitschaft, da die Suche nach Anregungen oder das Ausprobieren neuer Ideen nicht immer einen zielführenden Prozess darstellt, sondern sich vielmehr durch eine neugierige und offene Grundhaltung auszeichnet. Überraschenderweise schließt ein hohes pragmatisches Verhalten jedoch nicht unbedingt eine hohe technische Innovationsbereitschaft aus (Peters & Schmidt). Grund hierfür ist vermutlich das Verfolgen eigener Interessen, das je nach dem zu Zeitersparnis oder Zeitinvestition führt. Das Vorgehen bei der Unterrichtsplanung stellt damit eine zentrale Bedingung für die Implementierung fachdidaktischer Innovation dar.

8.2.2.3. Reflexionsschwerpunkt

Die Kategorie *6.1 Reflexionsschwerpunkt* gliedert sich in eine fachdidaktische, fachliche und unterrichtspraktische Perspektive. Bei der Subkategorie *6.1.1 Fachdidaktische Perspektive* beziehen sich die befragten Lehrkräfte auf ihre Unterrichtsziele, mögliche Lernschwierigkeiten der Schüler*innen, die Themenabfolge im Unterricht, das methodische Vorgehen sowie Abweichungen im Unterricht von der ursprünglichen Planung bzw. kritische Stellen im Unterricht. Die vier Lehrkräfte Peters, Kruse, Lenz und Schneider reflektieren in den Interviews fachdidaktisch eher oberflächlich (vgl. Abb. 8.6), da sie nicht über eine deskriptive Darstellung hinausgehen oder sogar ihr Vorgehen wenig durchdacht schildern:

- I: „Und während des Experiments hatten Sie ja die Schüler so mit eingebunden und ansonsten hatten Sie vor allem so ein Klassengespräch, sage ich jetzt mal. Ne, wo sich die Schüler auch immer viel beteiligt haben. Was war

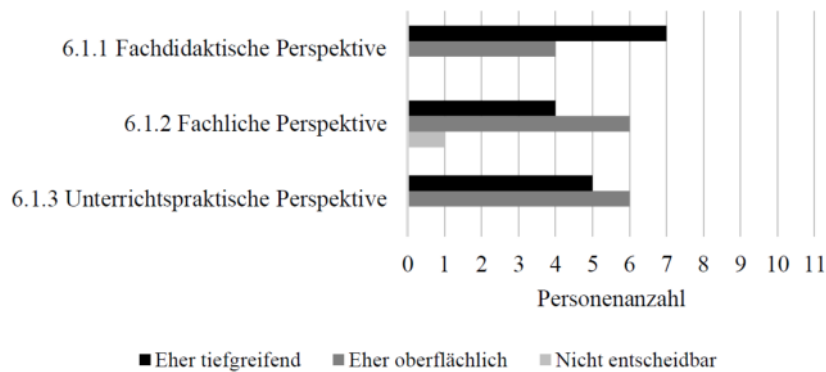


Abbildung 8.6.: Anzahl der Personen je Ausprägungsgrad der verschiedenen Reflexionsschwerpunkte.

da für Sie wichtig? Oder *warum haben Sie sich sozusagen für diese Form entschieden?*“

B: „*Weil ich es immer mache*“ (Peters, SR1, 67f.).

- „Ja, das ist eigentlich das, die Sache mit den Ein-Teilchen-Interferenzen. Das ist so eine Herausforderung. *Ob sie es verstanden haben, sei dahingestellt. Ich habe es gemacht jetzt, ne*“ (Peters, I2, 59).
- I: „Und du hattest mir beim letzten Mal schon so gesagt, dass du es schwierig fandst, diese Erkenntnis, okay, [...] Licht sind aber jetzt Teilchen und Photonen und Energieportionen, *dass du das schwierig fandst*. Diesen, *diese Überleitung*. Wie hast du dir das dann sozusagen im Vorfeld überlegt, dass du das dann gut in der Stunde machen kannst?“
 B: „Naja, du hast es ja gesehen, wie es, wie es gelau-/ also ehm, ja im Prinzip ist es ja was (...). Was so dann ehm, (...) ich sag mal, *das fällt so vom Himmel dann*. Es ehm wird im Prinzip, dann, er [Einstein] hat sich das so überlegt, dass das so, so sein kann. Und damit wird das dann begründet. So, mhm! Also so habe ich das ja auch gesagt, glaube ich, dann. Aber so mehr oder weniger, aber, *so richtig zufriedenstellend ist das ja eigentlich nicht, finde ich. Aber ich weiß, nicht wie man es anders machen könnte*“ (Kruse, SR1, 11).

Bei einer eher oberflächlichen fachdidaktischen Perspektive wird insgesamt wenig die Perspektive der Schüler*innen eingenommen. Wie bereits unter *1.1 Schüleraktivierend* und *1.6 Experiment handlungsleitend* erwähnt, zeichnet sich bei einigen der betreffenden Lehrkräften eine Aktivitätsorientierung (Brown, 1996; Fischler, 2000b; Hofstein & Lunetta, 2004) ab, was in den Fallbeschreibungen vertieft betrachtet wird (vgl. Unterkapitel 8.3).

Bei einer eher tiefgehenden fachdidaktischen Perspektive werden hingegen verschiedene Möglichkeiten abgewogen, das zukünftige Vorgehen begründet dargelegt oder Entscheidungen vor dem Hintergrund von externen Rand-

bedingungen reflektiert. Daher findet sich vermehrt ein Zusammenhang zu den Subkategorien *2.1.3 Pragmatisches Verhalten* sowie ein Abwägen zwischen *1.1 Schüleraktivierend* und *1.2 Lehrgelenkt*. Dabei werden auch teilweise Spannungsfelder wie, dass die Schüler*innen eigentlich mehr Zeit für das Erlangen eines tieferen Verständnisses des Inhaltsbereiches benötigen, aber aufgrund der Lehrplanvorgaben und der zur Verfügung stehenden Unterrichtszeit dies nur eingeschränkt realisiert werden kann, deutlich. Einige beispielhafte Aussagen der betreffenden Lehrpersonen (Schmidt, Leinert, Krüger, Janssen, Lücking, Kampe & Meyer) sind im Folgenden nachzulesen:

- „Ich kann denen das einfach erzählen, (seufzt) bei einigen funktioniert es, bei anderen bleibt es nicht hängen und wird nicht richtig verstanden. *Wenn ich das dann vorführe, bringt das nochmal mehr, als wenn ich es nur erzähle. Und wenn sie es dann selbst machen, bringt es nochmal mehr, als wenn ich es vorführe.* Also versuche ich immer, wenn es irgendwie geht, dass sie es selbst machen zu lassen und, wenn es nicht geht, gucke ich: Kann ich ein Experiment dazu machen“ (Schmidt, SR1, 110).
- „Ich glaube auch, dass bis zu einem gewissen Grad für einen Teil der Schüler das in Ordnung ist zu sagen: *Wir akzeptieren das so. Ehm ich glaube aber, dass es nicht wirklich befriedigend ist für viele Schüler.* Ne? Also ehm, wir hatten ja darüber gesprochen, ich habe kein besonders gutes Gedächtnis, ja? [...] Aber ich kann mir *sehr vieles selber erschließen, weil ich es verstanden habe* und ehm, das kann ich bei Schülern dann nicht verlangen. *Etwas, das ich akzeptiere, habe ich nicht verstanden und was ich nicht verstanden habe, kann ich nicht selber herleiten.* Und ich glaube, da ist der Vergessensprozess einfach deutlich höher. Dafür machen sie dann einfach mit drei Stunden Physik zu wenig“ (Janssen, SR1, 30).

Die jeweiligen Lehrkräfte versuchen dabei, die Perspektive der Schüler*innen zu erfassen und in der didaktischen Strukturierung zu berücksichtigen.

Die fachliche Reflexion der teilnehmenden Lehrkräfte (Subkategorie 6.1.2) bezieht sich oftmals auf die Durchführung und Auswertung von Versuchen. Hierbei diskutieren die befragten Lehrkräfte technische Feinheiten, Messergebnisse, naturwissenschaftliche Arbeitsweisen oder das für Schüler*innen nötige Vorwissen, um einen Versuch nachvollziehen zu können. Weiterhin sprechen die Lehrkräfte über die Inhalte der Quantenphysik, ihre verfolgten Unterrichtsziele oder über die Antworten von Schüler*innen. Sechs Lehrkräfte (Schneider, Leinert, Krüger, Lücking, Kampe & Meyer) reflektieren auf einem eher oberflächlichen, beschreibenden Niveau und äußern teilweise sogar fachlich wenig durchdachte Bemerkungen:

- I: „Was mir allerdings dafür auch noch aufgefallen ist, dass es, genau, keine Grafik dafür [zur Geometrie der Elektronenbeugungsröhre auf dem Arbeitsblatt] gab, um noch einmal zu sehen quasi *den Unterschied zwischen Theta*

und Zwei-Theta. Weil man hat ja hier bei der Ablenkung sozusagen genau den Winkel Zwei-Theta und hier am Ende aber ja sozusagen nur noch ehm Theta. Und da wollte ich einfach noch einmal fragen: Haben Sie das im Nachhinein mit den Schülern noch einmal besprochen? Ich war ja jetzt nur bei der einen Stunde dabei.“

B: „Mh (bejahend). Ja. Ich habe es noch einmal besprochen, ehm *weil ja der Winkel noch einmal ganz am Ende so ein kleines Nadelöhr war*. Weil das musste ja noch einmal besprochen werden. Habe ich noch einmal gemacht, das ist mir auch aufgefallen. Ehm ja, *ich habe das dann hier im Text eh letztendlich vorgegeben*: Nehmt bitte das. Ehm ja, vielleicht war das so eine kleine Reduktion. Dass wir das irgendwie in der Stunde schaffen“ (Leinert, SR1, 44f.).⁹⁷

- „Die [Schüler*innen] *nutzen da Fachbegriffe, Grenzfrequenz*, ehm. Das meine ich ja mit diesem Plakativen, man hätte ja auch, was weiß ich, Halogenscheinwerfer oder was nehmen können. *Aber dann wird es irgendwann schwammig*, weil das hat ja auch schon bisschen blaues, *bläuliches oder violette Anteile*. Sondern wirklich von einem Extrem zum anderen: *Rotlichtlampe, dieses Infrarote, irrsinnig hohe Leistung*“ (Lücking, SR2, 37).

Einige Lehrkräfte benennen explizit fachliche Unsicherheiten von ihnen. Das wirkt sich auf die Materialnutzung aus, was im weiteren Verlauf aufgegriffen wird.

Die vier Lehrkräfte Peters, Schmidt, Lenz und Janssen reflektieren im Gegensatz dazu auf einer tiefgreifenden fachlichen Ebene, wobei fachliche Themen miteinander vernetzt werden und über die Schulphysik hinausgegangen wird:

„Ich wusste selbst nicht, was herauskommt [es geht um selbstgebaute Schülerexperimente zur Gegenfeldmethode]. *Ich habe die Schüler da auch drei verschiedene Linien aufnehmen lassen*. Eine für das Maximum der Linien, die sie mit dem Spektrometer aufgenommen haben. //I: Genau. Und dann // Eins für das Minimum und eins für das Maximum. So und *aus der Theorie wäre es ja eigentlich so gewesen, dass wir bei dem Energiemaximum, also bei dem Wellenlängenminimum, ehm, eigentlich die richtigen Messwerte kriegen müssten*. Weil genau das tun die ja da, wenn wir uns im Buch diese Experimente angucken. Und ehm, *weil ich aber weiß, dass die Messgeräte Energie brauchen, habe ich gedacht: Naja, vielleicht geht es doch eher in die Mitte*. //I: Okay, hm (bejahend). // Und damit den Schülern klar wird, wo ist denn jetzt das Maximum, weil es ist ja so, dass das Maximum der Wellenlänge

⁹⁷Die Lehrkraft expliziert nicht, dass das „Nadelöhr“ für die Schüler*innen ein selbstgeschaffenes Problem war, indem sie den einzusetzenden Winkel vorgegeben hat, aber nicht anhand der geometrischen Zusammenhänge begründet hat. Es ist zu vermuten, dass diese Ungereimtheit im Zuge einer fachlichen Klärung von der Lehrkraft im Vorfeld der Unterrichtsstunde nicht antizipiert wurde.

nicht das Maximum der Energie ist. Deswegen habe ich sie beides machen lassen. Also das Maximum und das Minimum, damit die dann selbst darauf kommen, welche Seite braucht man denn jetzt? [...] Eigentlich die, ne? *Eigentlich ist das Minimum das, wo das Energiemaximum ist*“ (Schmidt, SR1, 114ff.).

Kruses fachliches Reflexionsniveau kann nicht eindeutig zugeordnet werden, da sie zwar einige fachlich tiefgreifende Äußerungen tätigt, aber in anderen Situationen fachlich wenig durchdacht argumentiert.

Eine Reflexion aus *6.1.3 Unterrichtspraktische Perspektive* bezieht sich auf räumliche oder praktische Gegebenheiten, fachunspezifische Unterrichtsentscheidungen oder auf das eigene Auftreten als Lehrkraft. Daher wird oftmals ein Bezug zu *2.2 Planungskriterien/Rahmenbedingungen* hergestellt. Ein oberflächliches Reflexionsniveau spiegelt sich in wenig durchdachten oder unorganisiert wirkenden Aussagen sowie in deskriptiven Beschreibungen wider und zeigt sich bei sechs Lehrkräften (Peters, Kruse, Lenz, Schneider, Krüger & Lücking):

I: „*War es jetzt unangenehm für Sie? Sich das [Video aus dem eigenen Unterricht] anzugucken? Oder?*“

B: „*Ne, das ging. Es ging, ja, ja. [...] Ich gucke auf ganz andere Sachen. Ob man meinen Bauch sieht oder. Also ich habe auf rein äußerliche Sachen jetzt geguckt (kichert)*“ (Krüger, SR1, 23ff.).

Die restlichen fünf Lehrkräfte (Schmidt, Leinert, Janssen, Kampe & Meyer) reflektieren tiefgreifend unterrichtspraktische Aspekte, indem sie verschiedene Alternativen gegeneinander abwägen bzw. begründet Entscheidungen treffen:

„Die Photozelle ist ganz gut. Wir haben eher das Problem, dass unsere Lichtfilter nicht so toll sind. //I: Ach so, okay.// Ehm. Das ist das eine. Das andere ist natürlich, man braucht so extreme Dunkelheit, um diesen Versuch dann in echt durchzuführen, und der Aufwand ist einfach wirklich enorm. Also ich habe das im Referendariat mal gemacht. [...] Das war wirklich aufwändig. *Und von daher wusste ich, wie aufwändig der Aufbau des Versuchs ist* und ich wusste eben auch, weil ich es vor meinem ersten Grundkurs, den ich gemacht hatte, schon ausprobiert habe, *dass man es mit Filtern bei uns nicht gut hinkriegt. [...] Blieb also nur Simulation*“ (Kampe, SR1, 95).

Die Reflexionstiefe aus den drei Reflexionsbereichen hängen nicht direkt miteinander zusammen – es gibt lediglich zwei Lehrkräfte (Schmidt & Janssen), die in allen drei Bereichen tiefgreifend reflektieren, und eine Lehrkraft (Schneider), die in allen drei Bereichen oberflächlich reflektiert. Alle weiteren Lehrkräfte sind in den verschiedenen Bereichen unterschiedlichen Reflexionsniveaus zugeteilt. Die in den Interviews festgestellte Reflexionstiefe

erlaubt Rückschlüsse auf die Reflexionsfähigkeit der befragten Lehrkräfte, welche einen Teil des professionellen Wissens ausmacht. Daher ist vor dem Hintergrund des aktuellen Forschungsstandes zu erwarten, dass die Reflexionstiefe (insbesondere in Bezug auf fachdidaktische Aspekte) eine wichtige Bedingung bei der Implementierung fachdidaktischer Innovation darstellt (vgl. Abschnitt 3.3.3), weshalb darauf im späteren Verlauf wiederholt Bezug genommen wird.

8.2.2.4. Selbstwirksamkeitserwartungen beim Unterrichten von Quantenphysik

Sieben Lehrkräfte (Schmidt, Lenz, Schneider, Janssen, Krüger, Kampe & Meyer) geben an, sich beim Unterrichten von Quantenphysik sicher zu fühlen. Es werden zwar Bereiche wie die Schrödinger-Gleichung, moderne Anwendungsbereiche oder spezifische Nachfragen von Schüler*innen genannt, in denen noch Unsicherheiten seitens der betreffenden Lehrkräfte vorliegen („mehr geht wahrscheinlich immer“, Schneider, I1, 113), aber im Großen und Ganzen fühlen sie sich auf Schulniveau sicher. Mehrere von ihnen berichten, dass sie zu Beginn ihrer Laufbahn die Vermittlung an Schüler*innen herausfordernd fanden, aber mit der Zeit aufgrund gewonnener Erfahrungen sicherer wurden. Krüger merkt jedoch an, immer noch kein „Universalrezept“ (Krüger, I1, 170) gefunden zu haben. Mehrere von ihnen geben sogar an, dass sie die fachlichen Anforderungen des Themas schätzen, „wo man [als Lehrkraft] fachlich auch mal gefordert wird“ (Kampe, I2, 54). An dieser Stelle zeigt sich ein Zusammenhang mit dem persönlichen Interesse an Quantenphysik (Subkategorie 5.2).

Drei Lehrkräfte (Kruse, Leinert & Lücking) fühlen sich hingegen eher unsicher beim Unterrichten von Quantenphysik. Sie führen an, dass sie bereits im Studium Schwierigkeiten mit dem Thema gehabt hätten. Kruse behauptet sogar, Quantenphysik wäre nicht Bestandteil ihres Studiums gewesen. Aufgrund dieser Unsicherheit werden vermehrt Materialien zur fachlichen Vorbereitung bzw. Absicherung (vgl. Subkategorie 3.5.2) oder Musterlösungen zu Aufgaben (vgl. Subkategorie 3.2.5) herangezogen – es besteht folglich ein direkter Zusammenhang zur Materialnutzung. Peters gibt ebenfalls an, dass die Quantenphysik schon an der Universität „ein Graus“ (Peters, I1, 118) gewesen sei. Er kann jedoch aufgrund gegensätzlicher Aussagen nicht eindeutig zugeordnet werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine niedrige Selbstwirksamkeit zum Unterrichten von Quantenphysik anscheinend primär durch die wahrgenommene fachliche Expertise gesteuert wird. Es kann keine Lehrkraft identifiziert werden, die sich zwar fachlich sicher, aber (zum Zeitpunkt der Studie) auf fachdidaktischer Ebene unsicher fühlt. Die Differenziertheit der

Ausführungen zur Wahrnehmung der eigenen Expertise zum Unterrichten von Quantenphysik hängen daher mit der fachlichen Reflexionstiefe (Subkategorie 6.1.2) zusammen.

8.2.2.5. Persönliches Interesse an Quantenphysik

Über die Hälfte der Stichprobe gibt an, ein hohes persönliches Interesse an Quantenphysik zu haben (Kruse, Schmidt, Lenz, Schneider, Leinert, Janssen & Lücking). Dies wird mehrfach in Kombination mit den Selbstwirksamkeitserwartungen zum Unterrichten von Quantenphysik (Subkategorie 5.1) genannt – in beide Richtungen. Zwei Lehrkräfte (Kruse & Leinert), die sich eher unsicher fühlen, geben ein großes Weiterbildungsinteresse an, wohingegen bei den Lehrkräften, die sich eher sicher fühlen, der Unterricht an sich und die Reaktionen der Schüler*innen (z.B. Aufzeigen neuer Horizonte) als interessant wahrgenommen werden. Letzteres hängt daher auch mit der Schwerpunktsetzung von Themen im Unterricht durch die Lehrkraft zusammen (Subkategorie 5.3).

Peters sagt als einziger explizit, sich nicht für Quantenphysik zu interessieren: „Es ist einfach nicht mein Thema, aber wenn ich es mache, dann mache ich es halt und dann versuche ich, das so rüber zu bringen, als wenn ich es auch mögen würde“ (Peters, I1, 118). Drei weitere Personen können aufgrund teilweise gegensätzlicher bzw. fehlender Aussagen (Krüger & Meyer bzw. Kampe) nicht eindeutig bezüglich des Interesses eingestuft werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass geringe Selbstwirksamkeitserwartungen zum Unterrichten von Quantenphysik nicht notwendigerweise zu einem geringen Interesse führen. Insgesamt ist der Großteil der Stichprobe eher interessiert an dem Thema, was als implementationsförderlich für die Materialnutzung gewertet werden kann.

8.2.2.6. Ziele der Quantenphysik im Physikunterricht

Für die Kategorie 5.3 *Ziele der Quantenphysik im Physikunterricht* wird auf eine Darstellung der durchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeit je Subkategorie verzichtet, da eine Abschätzung der Relevanz aufgrund der Verzerrung durch die Videographie und Nachbesprechung festgelegter Unterrichtsstunden (zum Thema *Photonen als Quantenobjekte* bzw. *Elektronen als Quantenobjekte*) nicht möglich ist. Insofern erscheint eine dichotome Einschätzung der verfolgten Ziele ausreichend (vgl. Abb. 8.7). Im Schnitt nennt jede Lehrkraft 9,5 Ziele des Quantenphysikunterrichts. Janssen führt mit sechs am wenigsten Ziele an, Kruse und Schmidt mit zwölf am meisten. Die Lehrkräfte mit einem Leistungskurs nennen tendenziell mehr Ziele (im

Durchschnitt 10,5)⁹⁸ als Lehrkräfte mit einem Grundkurs (im Durchschnitt 8,9). Eine hohe Anzahl an Zielen kann ein Indiz für einen vielseitigen Unterricht sein, wobei aufgrund keiner expliziten Äußerung eines Ziels nicht notwendigerweise geschlussfolgert werden kann, dass nicht weitere Ziele implizit verfolgt werden.

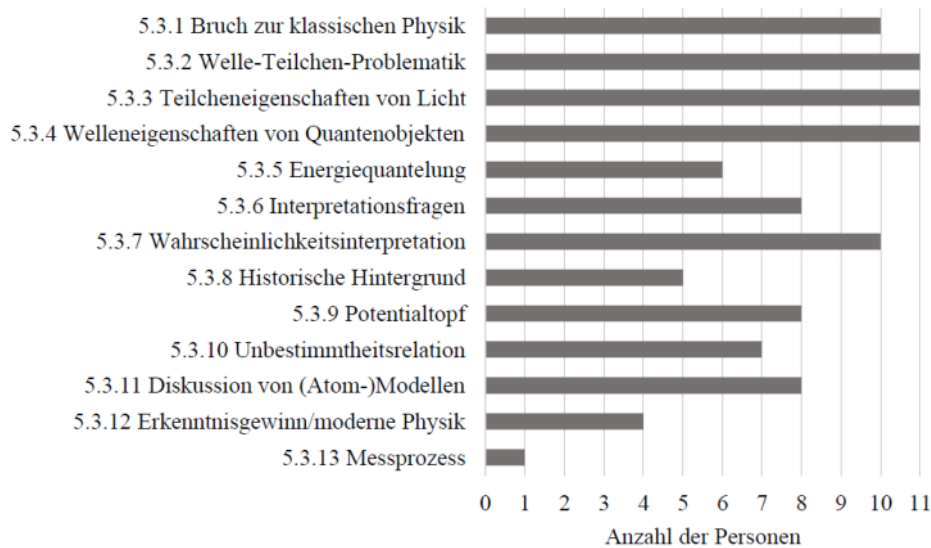


Abbildung 8.7.: Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen Unterrichtsziel zur Quantenphysik.

Im Folgenden werden die Befunde zu den einzelnen Subkategorien nacheinander vorgestellt. Das Aufzeigen des Gegensatzes zur klassischen Physik (Subkategorie 5.3.1) wird von zehn Personen (allen außer Peters) als explizites Unterrichtsziel angeführt. Dieses Ziel wird häufig mit der Demonstration von Teilcheneigenschaften von Licht (Subkategorie 5.3.3) verknüpft, da dies für die meisten Lehrkräfte (Janssen und Lücking bilden hierbei eine Ausnahme) den Einstieg in die Quantenphysik und somit einen geeigneten Anlass für die Herstellung eines kognitiven Konflikts bildet. In Bezug auf den Welle-Teilchen-Dualismus (Subkategorie 5.3.2) wird dieses Ziel hingegen selten (erneut) explizit geäußert.

Die Ziele *5.3.2 Welle-Teilchen-Problematik*, *5.3.3 Teilcheneigenschaften von Licht* und *5.3.4 Welleneigenschaften von Quantenobjekten* werden von allen teilnehmenden Lehrkräften angegeben. Das ist insofern nicht verwunderlich, da diese Themen in den Einheitlichen Prüfungsanforderungen für das Abitur (KMK, 2004a) vorgeschrieben sind und in Bezug auf die Schul-

⁹⁸Krüger wird hierbei als Lehrkraft mit einem Leistungskurs gezählt. Er unterrichtet zwar aufgrund der Schulstruktur in Mecklenburg-Vorpommern sowohl Grund- als auch Leistungskurschüler*innen, aber es ist zu vermuten, dass er sich tendenziell eher an den Leistungskurs-Vorgaben orientiert.

physik als sinnstiftend gelten (vgl. Abschnitt 5.2.3). *5.3.2 Welle-Teilchen-Problematik* wird oft im Zusammenhang mit *5.6 Schwierigkeiten beim Unterrichten von Quantenphysik* angegeben, wobei auch Bezug auf typische Schülervorstellungen genommen wird:

„Und auch beim Welle-Teilchen-Dualismus habe ich immer so das Gefühl, ja, als Lehrer hofft man dann natürlich auch darauf, *dass die keine wirkliche Vorstellung mehr haben sollen*. [...] Aber wenn ich da ganz realistisch bin, würde ich sagen: *Bei vielen passiert da kein Umdenken*“ (Kampe, I1, 119).

In Bezug auf die Abhandlung von Teilcheneigenschaften von Licht (Subkategorie 5.3.3) betonen die befragten Lehrkräfte vor allem die Wechselwirkung von Licht und Materie sowie den Impuls und die Energie eines Photons (Energiepaket). Im Zusammenhang mit der Behandlung von Welleneigenschaften von Quantenobjekten (Subkategorie 5.3.4) richten die Lehrkräfte ihren Fokus weniger auf einen hohen Mathematisierungsgrad, sondern vielmehr auf ein qualitatives Verständnis (vgl. Subkategorie 5.5.2) – es wird bspw. keine Wellenfunktion aufgestellt und berechnet.

Die drei Subkategorien *5.3.3 Teilcheneigenschaften von Licht*, *5.3.4 Welleneigenschaften von Quantenobjekten* und *5.3.2 Welle-Teilchen-Problematik* werden häufig gemeinsam genannt. Die ersten beiden stellen zwar eigenständige Ziele dar, beinhalten aber den Welle-Teilchen-Dualismus als übergeordnetes Ziel. Den befragten Lehrkräften zufolge sollen die Schüler*innen dazu mitnehmen, „dass man nicht abschließend sagen kann, ob, was weiß ich, Licht eine Welle oder ein Teilchen ist“ (Schneider, I1, 115).

Es ist verwunderlich, dass die Subkategorie *5.3.5 Energiequantelung* lediglich von sechs der teilnehmenden Lehrkräfte (Peters, Kruse, Lenz, Janssen, Lücking & Meyer) als Ziel angeführt wird, obwohl diese Subkategorie recht großzügig vergeben wurde (die Benennung der Berechnung des Planck'schen Wirkungsquantums wurde bereits codiert). Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass alle Lehrkräfte diesen Aspekt im Unterricht durchnehmen (da alle Lehrkräfte den Photoeffekt im Unterricht behandeln, vgl. Subkategorie 5.4.1), aber offensichtlich verfolgen mehrere Lehrkräfte dieses Ziel lediglich implizit. Ein möglicher Grund hierfür könnte sein, dass die jeweiligen Lehrkräfte diskrete Energiezustände eher in der Atomphysik verorten.

Die Subkategorie *5.3.6 Interpretationsfragen* wird von acht Personen (Peters, Kruse, Schmidt, Lenz, Leinert, Lücking, Kampe & Meyer) als Ziel angeführt. Das ist vor dem Hintergrund des aktuellen Forschungsstands zum Thema *Quantenphysik in der Schule* ein unerwartet hoher Anteil von Lehrkräften (vgl. Abschnitt 5.2.3). Die betreffenden Lehrkräfte gehen darauf nach eigenen Angaben bspw. im Zusammenhang mit der Besprechung des Welle-Teilchen-Dualismus (Subkategorie 5.3.2) oder der Gegenüberstellung

verschiedener Deutungen der Quantenphysik ein. Begründet wird das Ziel mit den folgenden Argumenten:

- „Also klar, man kann Physik nur mathematisch machen. Dann hat man nur die Formel und so. Aber es ist, ich finde, gerade weil das Abitur nicht mehr so mathematisch ist und weil es, ehm, *weil es einfach auch zur Physik dazu gehört, dass man sich eine Vorstellung davon macht*. Und diese Vorstellungen finde ich für Schüler sehr wesentlich, *weil die länger haften bleiben als Formeln*“ (Lenz, 105, SR1).
- I: „Und können Sie einfach noch einmal sagen, welche Aspekte der Quantenmechanik Sie jetzt wirklich explizit für den Schulunterricht wichtig finden?“
B: „Ehm. Also ich finde gerade diese Phänomene, die wir jetzt auch //I: Gemacht haben. Ja.// im Lehrplan haben, die finde ich wichtig. Und dann aber auch ganz wichtig: zu interpretieren. *Nicht einfach nur die Phänomene stehen zu lassen, sondern dann auch zu sagen, was heißt das jetzt eigentlich?* [...] Der Lehrplan fordert da nicht sehr viel“ (Kampe, I2, 59f.).

Den zitierten Lehrkräften ist folglich die Bedeutung der Behandlung von Interpretationsfragen zum Aufbau von Konzeptverständnis bewusst. Das stellt eine günstige Voraussetzung für die Implementierung von MILQ dar, weil die Behandlung von Deutungsfragen einen wesentlichen Bestandteil des Konzepts bildet.

Die Subkategorie *5.3.7 Wahrscheinlichkeitsinterpretation* wird ebenfalls von zehn Personen (allen außer Janssen) als Unterrichtsziel angegeben. Dieser Aspekt wird von den betreffenden Lehrkräften selten als alleiniges Ziel, sondern in der Regel im Zusammenhang mit *5.3.1 Bruch zur klassischen Physik*, *5.3.4 Welleneigenschaften von Elektronen*, *5.3.6 Interpretationsfragen* und/oder *5.3.10 Unbestimmtheitsrelation* behandelt. Es fällt auf, dass die Wahrscheinlichkeitsinterpretation häufig nur schlagwortartig als Ziel benannt und das dahinterliegende Konzept nicht weiter ausgeführt wird. Möglicherweise hat dieses Ziel daher für die Lehrkräfte einen eher untergeordneten Stellenwert im Vergleich zu anderen Zielen. Da in MILQ viel Wert auf Begriffsbildung gelegt und aus diesem Grund das Konzept der Präparation in der klassischen Physik und in der Quantenphysik kontrastiert wird, könnte die wahrgenommene Relevanz dieses Ziels Einfluss auf die Rezeption von MILQ haben.

Die Historie der Quantenphysik (Subkategorie 5.3.8) wird von den fünf Lehrkräften Kruse, Schmidt, Lenz, Janssen und Meyer als Kontext genutzt, insbesondere im Zusammenhang mit der Erklärung des Photoeffekts (Subkategorie 5.3.3) durch Albert Einstein. Da es sich um kein fachimmanentes Ziel zum Erreichen der Lehrplan-Vorgaben handelt, wird es vermutlich von weniger Lehrkräften verfolgt.

Der Potentialtopf (Subkategorie 5.3.9) wird nach Aussage der Lehrkräfte von acht Personen (allen außer Peters, Janssen & Kampe) behandelt. Die

drei Lehrkräfte, die dieses Ziel nicht nennen, unterrichten im Grundkurs, für den dieses Ziel nicht vorgegeben ist, was im Umkehrschluss bedeutet, dass vier Grundkurslehrkräfte dieses Ziel über die Lehrplanvorgaben hinaus verfolgen (KMK, 2004a; KLP NRW, 2014; KLP Hessen, 2016; KLP Niedersachsen, 2016; KLP Mecklenburg-Vorpommern, 2019).

Weiterhin ist es überraschend, dass die Subkategorie *5.3.10 Unbestimmtheitsrelation* von sieben Lehrkräften (Peters, Kruse, Schmidt, Lenz, Schneider, Krüger & Kampe) genannt wird – davon vier Grundkurs-Lehrkräfte. Denn die Unbestimmtheitsrelation ist in den betrachteten Bundesländern ebenfalls nur für den Leistungskurs vorgegeben (KLP NRW, 2014; KLP Hessen, 2016; KLP Niedersachsen, 2016; KLP Mecklenburg-Vorpommern, 2019). Es verwundert, dass Lücking als Leistungskurs-Lehrkraft die Unbestimmtheitsrelation nicht als Ziel aufzählt (was seine Kursbucheinträge bestätigen).

Das Thema Modellbildung bzw. das Aufzeigen von Grenzen von Modellen (Subkategorie 5.3.11) wird von acht Personen (Peters, Kruse, Schmidt, Lenz, Schneider, Leinert, Lücking & Meyer) als Ziel aufgeführt. Die betreffenden Lehrkräfte beziehen sich darauf häufig im Zusammenhang mit *5.3.3 Teilcheneigenschaften von Licht*.

Der Subkategorie *5.3.12 Erkenntnisgewinn/moderne Physik* können lediglich vier Personen (Kruse, Schmidt, Janssen & Lücking) zugeordnet werden, was insofern bezeichnend ist, als dass es sich hierbei um das zentrale Argument handelt, Quantenphysik in der Schule zu betrachten (vgl. Abschnitt 5.2.3).

Eine Thematisierung von Subkategorie *5.3.13 Messprozess* scheint für die befragten Lehrkräfte einen eher niedrigen Stellenwert für die Schulphysik einzunehmen. Lediglich Krüger verfolgt dieses Ziel explizit. Es ist allerdings zu vermuten, dass einige der Lehrkräfte, die die Interferenz von einzelnen Photonen im Interferometer im Unterricht behandeln, zumindest indirekt auf den Messprozess eingehen. Schmidt (SR2, 170) spricht bspw. von „diese[r] Knallereffekt-Geschichte“ (dabei kann einem Photon ein Weg im Interferometer zugeschrieben werden, wodurch dem Photon jedoch die Interferenzfähigkeit genommen wird). Der Messprozess stellt potenziell eine gute Möglichkeit zur Diskussion verschiedener Deutungen der Quantenphysik dar, was die teilnehmenden Lehrkräfte allerdings trotz Behandlung von Interpretationsfragen (Subkategorie 5.3.6) nicht umzusetzen scheinen.

Als weitere Ziele, die nicht als separate Subkategorien vorliegen, werden die Verschränkung von Photonen (Schmidt & Kampe), die Behandlung des Zeigermodells (Peters & Lücking) sowie die Behandlung des Bändermodells (Peters) angeführt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass alle befragten Lehrkräfte den Umgang mit Wellen- und Teilcheneigenschaften von Quantenobjekten als Unterrichtsziel verfolgen. Entgegen den Erwartungen diskutiert ein Groß-

teil der Stichprobe Interpretationsfragen der Quantenphysik mit den Schüler*innen, was als günstige Ausgangsvoraussetzung für die Implementierung von MILQ gewertet werden kann. Es bleibt allerdings offen, wie stark handlungsleitend dieses Ziel für die teilnehmenden Lehrkräfte ist, da einige Lehrkräfte selber keine konsistente Deutung der Quantenphysik zu verfolgen scheinen oder zumindest ihre eigene Deutung nicht reflektieren bzw. explizit thematisieren.

Offenkundig handelt es sich bei den genannten Zielen nicht per se um personenspezifische Merkmale, nichtsdestotrotz spiegeln sich hier individuelle curriculare Vorstellungen und Schwerpunktsetzungen wider. Denn mehrere Lehrkräfte verfolgen – wie bereits unter *2.2.1 Eigene Ziele (über den Lehrplan hinaus)* vorgestellt – über den Kernlehrplan hinausgehende Ziele. Dies zeigt, dass einige Lehrkräfte – trotz limitierender Randbedingungen (vgl. Kategorie 2.2) – bereit sind, für sie relevante Aspekte im Unterricht einzubinden. Dies kann entweder implementationsförderlich sein (wenn die Ziele der Lehrkraft mit den Zielen einer Innovation konform sind) oder implementationshemmend (wenn eine Diskrepanz zwischen den von der Lehrkraft verfolgten Zielen und den Zielen einer Innovation besteht) (vgl. Abschnitt 3.3.3). Das Verfolgen zusätzlicher Ziele könnte allerdings bei einigen Lehrkräften auch bedeuten, dass sie trotz der Lehrplanreduktion aufgrund der Einführung von G8 ihr früheres Konzept beibehielten und nach wie vor die Themen aus dem Leistungskurs auch im Grundkurs unterrichten. Diese Interpretation ist allerdings spekulativ, da dazu keine Belege im Datenmaterial vorliegen. Eine hohe Stabilität des eigenen etablierten Vorgehens wäre für die Implementierung einer Innovation als hinderlich zu bewerten.

8.2.2.7. Behandlung quantenmechanischer Phänomene

Für die Kategorie *5.4 Behandlung quantenmechanischer Phänomene* wird – analog zur Kategorie *5.3 Ziele der Quantenphysik* – auf eine Darstellung der durchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeit je Subkategorie verzichtet. Eine dichotome Einschätzung der behandelten Phänomene erscheint ausreichend (vgl. Abb. 8.8). Im Schnitt werden pro Person 5,8 quantenmechanische Phänomene während der Unterrichtsreihe behandelt. Peters nennt mit zehn Phänomenen am meisten und Janssen mit dreien am wenigsten. Es ist eine größere Varianz als bei den Zielen (Kategorie 5.3) zu sehen. Es lässt sich kein nennenswerter Unterschied zwischen Grundkurs-Lehrkräften (im Schnitt 5,9 genannte Phänomene) und Leistungskurs-Lehrkräften (im Schnitt 5,8 genannte Phänomene) feststellen.

Diese Varianz spiegelt sich auch in der Darstellung der Personenanzahl je Phänomen in Abbildung 8.8 wider. Der lichtelektrische Effekt (Subkategorie 5.4.1) wird nach Angabe der befragten Lehrkräfte von allen im Unterricht

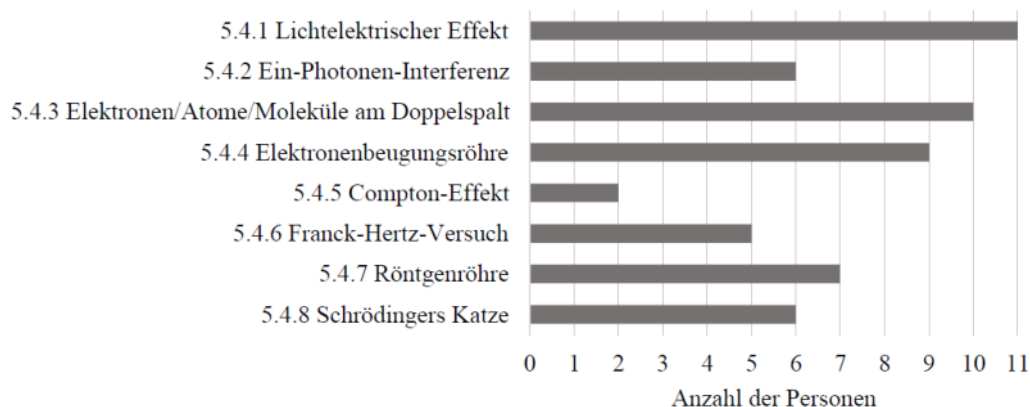


Abbildung 8.8.: Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen behandelten quantenmechanischen Phänomen.

durchgeführt, alle weiteren Phänomene werden jedoch lediglich von einem Teil der Stichprobe behandelt.

Im Folgenden werden die Erkenntnisse zu den einzelnen Subkategorien detaillierter vorgestellt. Der lichtelektrische Effekt (hierzu zählen sowohl der Hallwachs-Versuch als auch der Photoeffekt) wird von den befragten Lehrkräften zum Erreichen der Ziele *5.3.1 Bruch zur klassischen Physik*, *5.3.2 Welle-Teilchen-Problematik* und *5.3.3 Teilcheneigenschaften von Licht* durchgeführt.

Die Subkategorie *5.4.2 Ein-Photon-Interferenz* wurde sechs Personen (Peters, Schmidt, Lenz, Schneider, Leinert & Lücking) zugeordnet. Bei den verbleibenden Lehrkräften handelt es sich bis auf Krüger um Grundkurs-Lehrkräfte, die diesen vertiefenden Versuch möglicherweise aufgrund der geringeren Unterrichtszeit im Vergleich zum Leistungskurs aussparen (was konform mit den Lehrplan-Vorgaben ist; vgl. KLP NRW, 2014; KLP Hessen, 2016; KLP Niedersachsen, 2016; KLP Mecklenburg-Vorpommern, 2019).

Die Subkategorie *5.4.3 Elektronen/Atome/Moleküle am Doppelspalt* wird von zehn Lehrkräften (allen außer Janssen) benannt. Dieses Phänomen wird in der Regel von den betreffenden Lehrkräften für die Demonstration von Welleneigenschaften von Quantenobjekten (Subkategorie 5.3.4) und/oder der Thematisierung der Unbestimmtheitsrelation (Subkategorie 5.3.10) eingesetzt. Die beiden Phänomene *5.4.2 Ein-Photon-Interferenz* und *5.4.3 Elektronen/Atome/Moleküle am Doppelspalt* werden weiterhin nach Angabe der betreffenden Lehrkräfte oftmals zur Umsetzung der Ziele *5.3.6 Interpretationsfragen* („Kann sich ein Photon teilen, kann ihm ein Weg zugewiesen werden?“; Leinert, I1, 94) und *5.3.7 Wahrscheinlichkeitsinterpretation* herangezogen.

Die Elektronenbeugungsröhre (Subkategorie 5.4.4) wird von neun Lehrkräften (allen außer Schmidt & Krüger) im Unterricht gezeigt. Analog zum

Doppelspaltversuch mit Elektronen wird dieser Versuch zur Veranschaulichung von Welleneigenschaften von Quantenobjekten (Subkategorie 5.3.4) eingesetzt. Sechs Lehrkräfte (Kruse, Lenz, Schneider, Leinert, Lücking & Kampe) führen nach eigenen Angaben sowohl den Doppelspaltversuch mit Elektronen (Subkategorie 5.4.3) als auch die Elektronenbeugungsröhre (Subkategorie 5.4.4) als Versuch durch. Eine Lehrkraft (Janssen) greift ausschließlich auf die Elektronenbeugungsröhre als quantenmechanisches Phänomen zurück, wohingegen vier Lehrkräfte (Peters, Schmidt, Krüger & Meyer) nur den Doppelspalt einsetzen (bzw. Schmidt darauf nur sehr kurz anhand eines Bildes des Interferenzmusters auf die Elektronenbeugungsröhre zu sprechend kommt sowie Peters und Meyer, die den Versuch erst in der Q2 einsetzen wollen). Schmidt nennt als Grund Zeitersparnis (Subkategorie 2.2.9), Meyer findet hingegen den Doppelspaltversuch für Schüler*innen anschaulicher nachzuvollziehen.

Der Compton-Effekt (Subkategorie 5.4.5) wird lediglich von Kruse und Schmidt angegeben. Schmidt begründet den Einsatz zur Demonstration des Impulses von Licht (Subkategorie 5.3.3). Analog zur Diskussion in Bezug auf die Unbestimmtheitsrelation als zusätzliches Ziel (vgl. Unterabschnitt 8.2.2.7) stellt auch die Behandlung des Compton-Effekts einen zusätzlichen Aspekt über Lehrplanvorgaben hinaus dar (vgl. KMK, 2004; KLP NRW, 2014; KLP Hessen, 2016). In diesem Fall könnte sich dieses zusätzliche Ziel als implementationshinderlich in Bezug auf MILQ auswirken, da der Compton-Effekt in MILQ nicht enthalten ist (vgl. Abschnitt 5.2.2).

Der 5.4.6 *Franck-Hertz-Versuch* wird von fünf Lehrkräften (Peters, Kruse, Schmidt, Krüger & Meyer) und die 5.4.7 *Röntgenröhre* von sieben Lehrkräften (Peters, Kruse, Lenz, Leinert, Janssen, Lücking & Meyer) benannt. Das bedeutet jedoch nicht notwendigerweise, dass die verbleibenden Lehrkräfte das jeweilige Experiment nicht durchführten. Da beide Experimente Vorgabe für die zentralen Abiturprüfungen der betreffenden Bundesländer sind (KLP NRW, 2014; KLP Hessen, 2016; KLP Niedersachsen, 2016; KLP Mecklenburg-Vorpommern, 2019), ist eher zu vermuten, dass die Experimente zu einem späteren Zeitpunkt (in der Atomphysik) behandelt werden und daher nicht im Zusammenhang mit der Unterrichtreihe zur Quantenphysik expliziert werden. Darauf deuten einige Aussagen in den Interviews hin. Die Röntgenröhre wird von mehreren Lehrkräften in Kombination mit der Elektronenbeugungsröhre genannt, weil sie beide Versuche aufgrund der ähnlichen Geometrie direkt nacheinander durchführen wollen. Die betreffenden Lehrkräfte entscheiden sich entweder für eine Auslagerung der Elektronenbeugungsröhre in die Atomphysik oder der Behandlung der Röntgenröhre in die Quantenphysik als Umkehrung des Photoeffekts.

Die Subkategorie 5.4.8 *Schrödingers Katze* wird von den sechs Lehrkräften Schmidt, Lenz, Schneider, Leinert, Krüger und Kampe genannt. Als Begrün-

dition geben die betreffenden Lehrkräfte die Motivierung ihrer Schüler*innen an, da das Paradoxon von Schrödingers Katze populärwissenschaftlich so bekannt ist („Das haben die [Schüler*innen] schon einmal gehört“, Schmidt, SR2, 32). Die Besprechung dieses Gedankenexperiments wird typischerweise mit der Behandlung von Interpretationsfragen (Subkategorie 5.3.6) verknüpft.

Als weitere Phänomene, die nicht als separate Subkategorien vorliegen, werden das EPR-Paradoxon (Schmidt & Kampe), die Umkehrung des Photoeffekts mittels Leuchtdioden (Peters), Fluoreszenzpapier zur Verdeutlichung der Wellenlängen- und nicht Intensitätsabhängigkeit (Peters), Beugungsobjekte nach Koppelman (Peters), Fotopapier zur Verdeutlichung der Wechselwirkung von Licht und Materie (Peters), der Schattenwurf einer mit Kochsalz gefärbten Flamme im Licht einer Natriumdampflampe (Schmidt) und die Behandlung der Unbestimmtheitsrelation am Einzelspalt (Schneider) angeführt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Behandlung des lichtelektrischen Effekts und von Elektronenbeugung (entweder mittels Doppelspaltversuch oder Elektronenbeugungsröhre) von allen teilnehmenden Lehrkräften durchgeführt wird. Ansonsten sind deutliche Unterschiede in den gezeigten Phänomenen auszumachen, welche sich nicht auf die Unterscheidung von Grund- und Leistungskurs zurückführen lassen. Allgemein wird die Demonstration quantenmechanischer Phänomene zum Erreichen von inhaltlichen Zielen, mit Interesseförderung bzw. Anwendungsbezug sowie aufgrund der Vorgabe durch den Kernlehrplan („Wie man die Schwerpunkte setzt in der Quantenmechanik, ist durch die Experimente relativ klar vorgegeben“, Meyer, I2, 53) begründet.

Es fällt jedoch auf, dass die Phänomene selbst teilweise als Ziel angegeben werden. Möglicherweise handelt es sich hierbei um Kurzformen als Redewendung (bspw. die Nennung des Photoeffekts als Ziel, wobei die befragte Person davon ausgeht, dass der Interviewer bewusst ist, dass damit die Einführung von Photonen als Konzept gemeint ist), da die betreffenden Lehrkräfte an anderen Stellen die verfolgten inhaltlichen Ziele bzw. Konzepte durchaus benennen. Dies tritt auch häufig auf, wenn die jeweiligen Lehrkräfte retrospektiv auf einer deskriptiven Ebene über ihre Unterrichtsstunden berichten und vermutlich stärker auf einer Handlungsebene denn auf einer inhaltlichen Ebene argumentieren. In einigen Fällen lassen sich aber auch Zusammenhänge zur Subkategorie 1.6 *Experiment handlungsleitend* feststellen, was auf eine wenig reflektierte Abhandlung von Experimenten im Unterricht hindeutet:

- I: „Was sind so für dich die, ja, die *zentralen Aspekte von Quantenphysik für die Schule*? Also es gibt natürlich //B: Für die Schule.// eh, ganz viel, was man machen kann.“
B: „Kleiner *Photoeffekt* durch und dann eh, (...) ja ich find, ich fände eigent-

lich auch das Thema Röntgenstrahlung ganz wichtig in dem Zusammenhang. *Compton-Effekt*, also *diese Effekte im Prinzip*. Die, die irgendwie eigentlich gemacht werden müssten. Und ehm die Elektronenbeugung, natürlich *Doppelspalt*. Klar, das sind schon so für mich jetzt erstmal, //I: Das sind jetzt so die zentralen Punkte.// die zentralen Sachen“ (Kruse, I2, 104f.).

- Als Begründung für die Durchführung der Umkehrung des Photoeffekts mit Leuchtdioden antwortet Peters (SR1, 66) Folgendes:
„Nicht so wie beim äußeren Photoeffekt, wie, wo dann von außen ein Lichtteilchen ankommt und das die Energie auf das Elektron überträgt. Hier haben wir eher, ehm, ein, ja hm, Elektron wird ja angeregt über eine Spannung. Und ehm, ein Lichtteilchen entsteht dadurch. Also genau anders herum als wie beim Photoeffekt, beim äußeren Photoeffekt. Ehm allerdings passiert das ja auch mit einem Elektron, ein Elektron gibt die Energie an EIN Lichtteilchen ab. *Und ja, eigentlich habe ich mir das so noch gar nicht überlegt, was der Unterschied zwischen beiden ist*. Aber naja, es ist auch wieder, es entstehen wieder Teilchen und es sind nur Teilchen, ehm, involviert in dem ganzen Prozess da.“

Womöglich unterstützt die Vorgabe von Schlüsselexperimenten im Grundkurs durch den Kernlehrplan NRW (KLP NRW, 2014) bei den betreffenden Lehrkräften ein solches Verhalten. Insgesamt ist der wenig reflektierte Einsatz von Experimenten hinsichtlich der Unterrichtsqualität als kritisch zu bewerten (vgl. Unterkapitel 2.1) und für die Implementierung fachdidaktischer Innovation zumindest als wichtiges personenbezogenes Merkmal für die Beurteilung und Nutzung einzuschätzen. Der Stellenwert des Experiments im Unterricht für die teilnehmenden Lehrkräfte wird im späteren Verlauf daher erneut aufgegriffen.

8.2.2.8. Stellenwert der Mathematik im Quantenphysikunterricht

In Bezug auf den angestrebten Mathematisierungsgrad in der Quantenphysik geben sechs Lehrkräfte (Peters, Kruse, Schmidt, Lenz, Schneider & Leinert) an, den Unterricht mathematisch anspruchsvoll zu gestalten (Subkategorie 5.5.1) (vgl. Abb. 8.9). Es handelt sich hierbei sowohl um Grundkurs-Lehrkräfte (Peters, Kruse, Schneider & Leinert) als auch um Leistungskurs-Lehrkräfte (Schmidt & Lenz). Dabei beziehen sich die betreffenden Lehrkräfte auf Herleitungen, Aufgaben oder Inhaltsbereiche:

- „Also wir haben *die Schrödinger-Gleichung auch, weil das ist das Einzige, wo man rechnen kann*. [...] Zwar mit Schwierigkeiten und mit Hilfen und mit viel Gefluce, aber, ehm, das ist ein Leistungskurs“ (Lenz, I2, 29).
- „Weil das manchmal auch als Frage im Abitur kommen kann, damit die auch wirklich vorbereitet sind, meine Schüler. //I: Ja, klar. // Dann nur noch ein

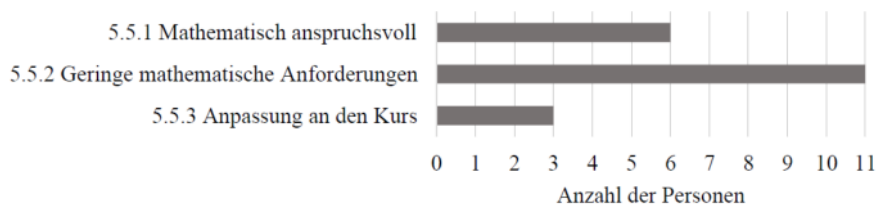


Abbildung 8.9.: Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen Mathematisierungsgrad.

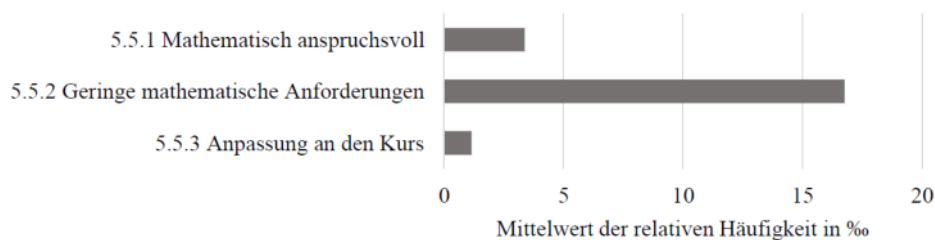


Abbildung 8.10.: Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings pro Person je Mathematisierungsgrad.

paar Aufgaben, das sind so Standardaufgaben aus Bayern, nehme ich auch gleich immer die schweren“ (Peters, I1, 45).

Ein hoher Mathematisierungsgrad wird häufig mit der Vorbereitung auf das Abitur begründet.

Es geben jedoch alle befragten Lehrkräfte an, geringe mathematische Anforderungen an die Schüler*innen zu stellen (Subkategorie 5.5.2), was sich ebenfalls deutlich in der relativen Nennungshäufigkeit widerspiegelt (vgl. Abb. 8.10). Dieser scheinbare Widerspruch lässt sich darauf zurückführen, dass sich ersteres ausschließlich auf ausgewählte Aspekte bezieht, wohingegen letzteres in der Regel für die gesamte Unterrichtsreihe gemeint ist: „Also ich glaube, dass die Mathematik, die wir jetzt hier benutzen, das ist ja, ehm recht überschaubar“ (Kruse, I2, 115). Die vier Lehrkräfte Krüger, Janssen, Lücking und Meyer werden ausschließlich dieser Subkategorie zugeordnet. Es handelt sich dabei sowohl um Grundkurs-Lehrkräfte (Janssen & Meyer) als auch um Leistungskurs-Lehrkräfte (Krüger & Lücking). Es bleibt allerdings widersprüchlich, dass auch geringe mathematische Anforderung mit den Vorgaben für das Abitur begründet werden:

„Ja, also es darf natürlich nicht über den Stoff der normalen Mathematik hinausgehen. [...] Ja, es muss noch, in der Physik ist es sowieso, auch im Abitur wird es hinterher so sein, dass die Mathematik relativ einfach gehandhabt werden muss. Also es muss nur noch einfach sein und bleiben“ (Peters, I2, 188).

Daher reduzieren die Lehrkräfte die Mathematik auf ein „Minimaß“ (Janssen, I1, 170). „Also beim Photoeffekt muss man eine Gerade zeichnen und eine Geradengleichung interpretieren können“ (Kampe, I2, 62). Einige Lehrkräfte betonen dies sogar als besonderes Merkmal der Quantenphysik im Gegensatz zu anderen Themenfeldern:

„Gerade die Schüler, die vielleicht Physik gewählt haben, *obwohl sie mathematisch jetzt nicht so umwerfend sind. Ist das ja eigentlich ein Themenbereich, wo man dann mal klarkommen kann, ne? Wo man flexibel im Denken sein muss* und das gar nicht darum geht: „Ich kann eine Gleichung umformen und fühle mich bei Äquivalenzumformungen sicher“, was eben häufig der Fall ist. Also wenn man jetzt irgendwie *die Wellenoptik hat, wo man irgendwie ständig Trigonometrie hat*, wo man irgendwelche Gleichungen umformen muss“ (Kampe I2, 62).

Stattdessen rücken für die befragten Lehrkräfte *5.3.6 Interpretationsfragen* in den Vordergrund:

„Das heißt, *mir geht es da natürlich erst einmal um die qualitativen Dinge*. Klar kann man den Photoeffekt auch quantitativ beschrieben, der ist ja relativ simpel, ehm, aber von der quantitativen Beschreibung habe ich natürlich weit weniger als von der Idee, was- //I: Dahinter steckt, ja.// Dass Licht auf einmal irgendwie ein Quant ist, das Energieportionen hat. *Das heißt, die Dinge sind mir viel wichtiger als am Ende die mathematische Beschreibung*“ (Kampe, I1, 107).

Weiterhin geben drei Lehrkräfte (Kruse, Lenz & Kampe) an, den Mathematisierungsgrad auf die jeweilige Schüler*innengruppe anzupassen (Subkategorie 5.5.3).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die befragten Lehrkräfte nach eigenen Angaben insgesamt eher geringe mathematische Anforderungen an die Schüler*innen stellen. Bei der Codierung von *5.5.1 Mathematisch anspruchsvoll* wurde eine soziale Bezugsnorm angelegt, um Unterschiede zwischen den Lehrkräften zu verdeutlichen. Aus der Perspektive einer kriterialen Bezugsnorm unter Berücksichtigung des quantenmechanischen Formalismus, dem komplexen Zahlenraum und Differentialgleichungen handelt es sich nichtsdestotrotz um einen niedrigen mathematischen Anspruch. Es können keine Tendenzen zwischen Grundkurs- und Leistungskurs-Lehrkräften festgestellt werden. Es ist insofern überraschend, dass alle befragten Lehrkräfte einen eher geringen Mathematisierungsgrad anstreben, da vor dem Hintergrund vorausgehender Studien ein stärker quantitativer Fokus zu erwarten gewesen wäre (vgl. Schöne, 2018; Weber, 2018).

8.2.2.9. Schwierigkeiten beim Unterrichten von Quantenphysik

Die genannten Schwierigkeiten beim Unterrichten von Quantenphysik (Kategorie 5.6) fallen pro Person recht unterschiedlich aus (Abb. 8.11 & 8.12). Obgleich (fast) alle befragten Lehrkräfte sowohl den hohen Abstraktionsgrad der Quantenphysik (Subkategorie 5.6.3) als auch die Welle-Teilchen-Problematik (Subkategorie 5.6.5) als Schwierigkeit anführen, werden alle weiteren Subkategorien lediglich von einem Teil der Stichprobe und überdies deutlich weniger geäußert. Im Schnitt nennen die teilnehmenden Lehrkräfte 4,7 Schwierigkeiten, wobei die Anzahl zwischen drei (Leinert) und neun (Peters) variiert.⁹⁹

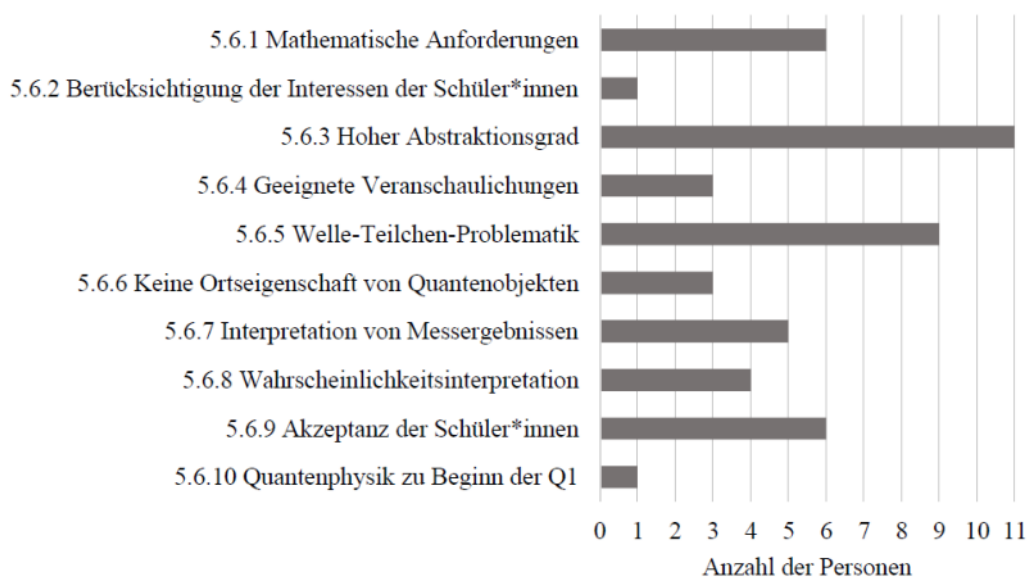


Abbildung 8.11.: Anzahl der Personen mit Aussagen zur jeweiligen Schwierigkeit beim Unterrichten von Quantenphysik.

Die Subkategorie *5.6.1 Mathematische Anforderungen* wird von sechs Personen (Peters, Schmidt, Lenz, Schneider, Janssen & Meyer) mit einer recht hohen durchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeit angegeben. Diese Auffassung findet sich auch in anderen Untersuchungen oder Expert*inneneinschätzungen wieder (vgl. Abschnitt 5.2.2). Es ist allerdings bemerkenswert, dass diese Schwierigkeit trotz des angestrebten eher niedrigen Mathematisierungsgrads (Subkategorie 5.5.2) genannt wird. Dies ist zum Teil darauf zurückzuführen, dass die betreffenden Lehrkräfte als mathematische Schwierigkeiten bspw. bereits den Umgang mit trigonometrischen Funktionen (z.B. bei der Geometrie der Elektronenbeugungsröhre), die Umrechnung von Längeneinheiten (Meter in Pikometer) oder Wahrscheinlichkeitsrechnung zählen,

⁹⁹Hierbei wurden zusätzliche Schwierigkeiten, die keiner Subkategorie zugeordnet werden konnten, mitgezählt. Diese werden im weiteren Verlauf ebenfalls aufgelistet.

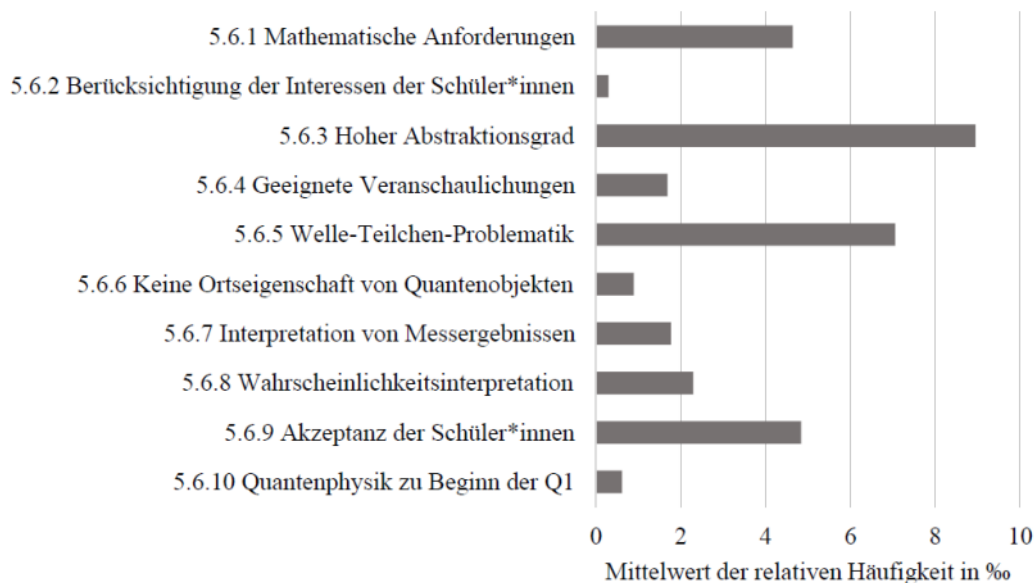


Abbildung 8.12.: Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings je Schwierigkeit beim Unterrichten von Quantenphysik.

was jedoch normativ nicht als hoher Stellenwert der Mathematik im Quantenphysikunterricht gewertet werden kann. Gleichwohl diese Schwierigkeiten direkt mit der Quantenphysik verknüpft werden, scheint es sich weniger um spezifische mathematische Schwierigkeiten der Quantenphysik als vielmehr um allgemeine mathematische Fähigkeiten zu handeln.

Darüber hinaus geben einige der betreffenden Lehrkräfte die mathematischen Anforderungen als eine *potenzielle* Schwierigkeit an, welche sie bewusst zu umgehen versuchen. Einen ausschließlich qualitativen Zugang in der Schulphysik sehen jedoch ebenfalls einige Lehrkräfte für ein tiefgehendes Verständnis als hinderlich an: „Da ist eine Psi-Funktion und die überlagert sich. Mehr ist das nicht. Das ist eine echte Black-Box an der Stelle“ (Schmidt, I2, 48). Weiterhin nehmen die betreffenden Lehrkräfte mit dieser Schwierigkeit teilweise auch Bezug auf die eigene Perspektive auf Quantenphysik und wahrgenommene Schwierigkeiten wie der Schrödinger-Gleichung oder der Hamilton-Operator, welche vor dem Unterricht von den betreffenden Lehrkräften fachlich wiederholt werden.

Die Subkategorie *5.6.2 Berücksichtigung der Interessen der Schüler*innen* scheint insgesamt nicht von großer Relevanz zu sein, da sie lediglich von einer Lehrkraft (Kampe) erwähnt wird. Für Kampe scheint dieser Aspekt allerdings durchaus bedeutsam für die Unterrichtsgestaltung zu sein:

„[D]as ist eigentlich so der Themenbereich, wo natürlich am ehesten mal Fragen kommen, die man nicht beantworten kann. [...] Weil die Schüler da

durchaus auch noch einmal irgendwie Interesse entwickeln, schon einmal etwas gelesen haben, was gehört haben, und auch dann mal irgendwie mehr wissen wollen. [...] Was mir immer schwerfällt ist, das rund zu bekommen auf einem Niveau für die Schüler. Dass nicht irgendwelche Fragen offen bleiben und für die Beantwortung dieser Fragen müsste ich so tief reingehen, dass dann nur noch mehr Fragen kommen. Da habe ich bisher auch kein so richtig tolles Allheilmittel gefunden“ (Kampe, I1, 103ff.).

Die Subkategorie 5.6.3 *Hoher Abstraktionsgrad* wird von allen Lehrkräften angegeben und weist die höchste durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit auf. Daher kann dieser Aspekt als die von den Lehrkräften am relevantesten wahrgenommene Schwierigkeit beim Unterrichten von Quantenphysik interpretiert werden (vgl. Weber, 2018). Zu dieser Subkategorie finden sich viele allgemeine Aussagen zur Quantenphysik:

- „Weil das Hauptaugenmerk wollte ich natürlich *oder die Hauptschwierigkeit für die Schüler finde ich eben zu sagen, wir verlassen jetzt die Welt des Begreifbaren* und treten jetzt ein in eine Welt, die ganz anders ist als das, was wir kennen“ (Lenz, I2, 25).
- „Ich habe Sachen, Quantenobjekte, die sind nun mal so klein, *man sieht sie nicht. Die Anschauung versagt*. Eigentlich ein ganz blödes Thema für unseren menschlichen Verstand“ (Lücking, I2, 105).

Weiterhin nehmen die befragten Lehrkräfte die folgenden Aspekte als sehr abstrakt wahr (vgl. Kategorie 5.3):

- Photonen
- Elektronen
- Unbestimmtheitsrelation
- Verschränkung
- Schrödingers Katze
- Indeterminismus
- Umgang mit Modellen

Als Gründe für die Abstraktheit der Quantenphysik werden die mathematische Beschreibung genannt, welche sich einer anschaulichen Erklärung entzieht (Subkategorie 5.6.1), und die Andersartigkeit im Vergleich zur klassischen Physik (in der klassischen Physik gilt, „entweder es ist so oder es ist so“, Schneider, I2, 35). In der Regel beziehen sich die Lehrkräfte bei der Benennung der Schwierigkeit des hohen Abstraktionsgrads auf (mögliche) Verständnisschwierigkeiten der Schüler*innen oder auf Schwierigkeiten

der Vermittlung an die Schüler*innen. Seltener werden eigene Verständnisschwierigkeiten beschrieben:

- „Also man ist ja immer geneigt, sich das vorstellen zu wollen, *bis ich irgendwann mal dann akzeptieren konnte, du darfst dir das nicht vorstellen*“ (Kruse, I1, 182).
- „Also für mich war dann die Quantenphysik, die immer noch seltsamen Eigenschaften der Teilchen, die immer noch, *also die für mich immer noch sehr abstrakt sind*. Die wir im Studium wenig erforscht haben“ (Leinert, I2, 82).

Die Subkategorie 5.6.4 *Geeignete Veranschaulichungen* wird von den Lehrkräften Peters, Leinert und Meyer aufgezählt. Diese Subkategorie hängt eng mit den mathematischen Anforderungen (Subkategorie 5.6.1) und dem hohen Abstraktionsgrad der Quantenphysik (Subkategorie 5.6.3) zusammen. Aufgrund dieser beiden Aspekte berichten die betreffenden Lehrkräfte, dass es ihnen schwerfällt, die Quantenphysik anschaulich zu unterrichten. Das äußert sich nach den Angaben der jeweiligen Lehrkräfte beim Aufzeigen von Grenzen von Modellen (Subkategorie 5.3.11) sowie fehlenden Anwendungen bzw. Alltagsbezügen. Es ist anzunehmen, dass dieser Aspekt weitere Lehrkräfte beschäftigt, jedoch nicht explizit in den Interviews von ihnen benannt wurde (möglicherweise weil dieser Aspekt für sie offensichtlich ist).

Die Welle-Teilchen-Problematik (Subkategorie 5.6.5) wird von neun Lehrkräften (allen außer Lenz & Leinert) angegeben und bildet die zweithäufigste genannte Subkategorie. Insofern ist davon auszugehen, dass diese Schwierigkeit für die befragten Lehrkräfte eine wichtige Rolle beim Unterrichten von Quantenphysik spielt. Da dieser Aspekt von allen teilnehmenden Lehrkräften auch als Unterrichtsziel (Subkategorie 5.3.2) verfolgt wird, lässt sich insgesamt daraus schließen, dass die Welle-Teilchen-Problematik im Fokus der Lehrkräfte steht. Die getätigten Aussagen beschreiben (mögliche) Verständnisschwierigkeiten auf Seiten der Schüler*innen – oftmals im Zusammenhang mit dem Ziel *Welleneigenschaften von Quantenobjekten* (Subkategorie 5.3.4) – welche jedoch oftmals unkonkret bleiben: „[A]ber wenn die *Elektronen plötzlich Wellencharakter* haben, //I: Das ist schwierig. // dann ist *Feierabend*“ (Kruse, I1, 222).

Einige Lehrkräfte nehmen aber auch Bezug auf mögliche Schülervorstellungen wie die Vorstellung von Elektronen als „Wellblech [...] – so materiemäßig“ (Lücking, I1, 166) oder eine „Surfvorstellung“ (Kampe, SR2, 49), wonach ein Elektron in Form eines Teilchens auf einer Welle reitet (vgl. Müller & Schecker, 2018).

Peters, Kruse und Lücking führen als weitere Schwierigkeit die Nichtlokalität von Quantenobjekten (Subkategorie 5.6.6) an. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit dieser Subkategorie fällt niedrig aus. Das ist

verwunderlich, da sechs Lehrkräfte als Phänomen Ein-Photon-Interferenz (Subkategorie 5.4.2) und zehn Lehrkräfte den Doppelspaltversuch mit Elektronen (Subkategorie 5.4.3) nach eigenen Angaben behandeln, welche ohne Thematisierung der Interferenzfähigkeit von Quantenobjekten nicht zu verstehen sind. Weiterhin ist kaum anzunehmen, dass die Schüler*innen wenig Schwierigkeiten mit dem Konzept der Nichtlokalität hätten, da Müller (2003) hierzu gängige Schülervorstellungen identifizieren konnte (vgl. Müller & Schecker, 2018). Weiterhin gaben bei der Delphi-Befragung von Weber (2018) die befragten Physiklehrkräfte an, sich Hilfestellungen für die Behandlung von Nichtlokalität zu wünschen. Die befragten Lehrkräfte dieser Studie beziehen sich bei der Nennung dieser Schwierigkeit jedoch in ersten Linie auf ihr eigenes Verständnis:

„[D]iese *Komplementarität*, da sehe ich Schwierigkeiten. Also //I: Im Verständnis einfach? // *Welcher-Weg-Experiment*, da *durchzusteigen*, da *hatte ich selber Schwierigkeiten*“ (Peters, I1, 128).

Die Interpretation von Messergebnissen (Subkategorie 5.6.7) wird von fünf Personen (Peters, Kruse, Lenz, Lücking & Kampe) als schwierig eingeschätzt. Diese Subkategorie wird allerdings vergleichsweise selten genannt, sodass zu vermuten ist, dass die genannten Probleme eher selten auftreten bzw. einen geringeren Stellenwert im Gegensatz zu anderen Schwierigkeiten einnehmen. Nach Aussagen der jeweiligen Lehrkräfte tauchten folgende Schwierigkeiten in der Interpretation von Messergebnissen bei den Schüler*innen auf: das Verständnis der Austrittsarbeit bei der Gegenfeldmethode (Krüger & Lenz), die Vorstellung zur Erklärung des Photoeffekts, Licht transportiere positive Ladungen (Kampe), sowie das Verständnis von Ein-Teilchen-Interferenz (Peters). Kruse benennt in diesem Zusammenhang darüber hinaus als Vermittlungsschwierigkeit, die Energiequantelung aus dem Photoeffekt abzuleiten. Es ist zu vermuten, dass dieser Schwierigkeit eine fachliche Unsicherheit seitens der Lehrkraft zugrundeliegt. Im Gegensatz dazu demonstriert Lücking mit der nachfolgenden Aussage, der Verfestigung von Fehlvorstellungen durch klärende Nachfragen vorzubeugen (er bezieht sich auf die Abgabe der Energie von Photonen an Elektronen beim Photoeffekt):

„Naja, auch sprachlich präzise sein. Abgeben ist ja jetzt nicht irgendwie sehr genau. *Was heißt denn jetzt „abgeben“?* Teilweise abgeben? Vollständig abgeben? //I: Ja, eben. // Und dann hat es keine Energie mehr, aber das Photon ist noch da? [...] *Ist das ein leeres Photon, so wie eine leere Batterie*, oder so? Akku leer, aber die Batterie ist noch da“ (Lücking, SR2, 49).

Insgesamt zeigt sich, dass die betreffenden Lehrkräfte unter der Schwierigkeit der Interpretation von Messergebnissen selten die Interpretation durch verschiedene Deutungen der Quantenphysik meinen (darunter fällt ledig-

lich das Verständnis der Ein-Teilchen-Interferenz, worauf Peters aber nach eigenen Angaben nicht weiter eingeht), sondern das Ziehen von Schlussfolgerungen auf der Basis von Messergebnissen, was folglich auf die Physik im Allgemeinen zutrifft.

Die Subkategorie *5.6.8 Wahrscheinlichkeitsinterpretation* wird von den vier Lehrkräften Peters, Kruse, Schmidt und Lenz angeführt. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit fällt eher gering aus. Dafür, dass die Wahrscheinlichkeitsinterpretation von zehn Lehrkräften als Ziel (Subkategorie 5.3.7) verfolgt wird, überrascht zunächst dieser Befund. Da die Wahrscheinlichkeitsinterpretation jedoch lediglich schlagwortartig und im Zusammenhang mit anderen Zielen genannt wird, handelt es sich – wie bereits berichtet – vermutlich um ein nebensächliches Ziel. Vor dem Hintergrund dieser Interpretation verwundert es nicht, dass der Aspekt der Wahrscheinlichkeitsinterpretation ebenfalls in Bezug auf Schwierigkeiten beim Unterrichten von Quantenphysik weniger im Fokus steht.

Die Schwierigkeit der Wahrscheinlichkeitsinterpretation wird (analog zum Ziel der Wahrscheinlichkeitsinterpretation, Subkategorie 5.3.7) vielfach in Zusammenhang mit den Phänomenen *5.4.2 Ein-Photon-Interferenz*, *5.4.3 Elektronen/Atome/Moleküle am Doppelspalt* und *5.4.4 Elektronenbeugungsröhre* genannt. Dabei steht die Interpretation des Betragsquadrats der Wellenfunktion für die betreffenden Lehrkräfte im Vordergrund, weshalb diese Subkategorie auch mit *5.6.1 Mathematische Anforderungen* zusammenhängt. Schmidt betont darüber hinaus den kognitiven Konflikt, der aus dem Gegensatz zur klassischen Physik resultiert:

„Und das wird in der Quantenphysik ja noch schlimmer eigentlich als in der Relativitätstheorie. Weil da wird ja nicht nur die Zeit in Frage gestellt. *Da wird ja im Prinzip die Sicherheit an sich in Frage gestellt*“ (Schmidt, I2, 151).

Weiterhin werden sechs Personen (Kruse, Schmidt, Lenz, Leinert, Janssen & Lücking) der Subkategorie *5.6.9 Akzeptanz der Schüler*innen* zugeordnet. Diese Subkategorie wird am dritthäufigsten genannt, weshalb sie für die betreffenden Lehrkräfte vermutlich eine relevante Schwierigkeit beim Unterrichten von Quantenphysik darstellt. Einige Aussagen sind deskriptiv, ohne konkrete Gründe für die Schwierigkeit der Akzeptanz aufzuführen:

„Eigentlich schon, *weil es eben mal so ganz anders ist*. Und weil auch die Schüler so unterschiedlich damit zurechtkommen. *Weil die auch immer eine Weile brauchen, sich auf das Ganze so einzulassen*“ (Kruse, I1, 182).

In anderen Beiträgen nehmen die Lehrkräfte jedoch konkret Bezug auf das hohe Abstraktionsniveau der Quantenphysik (Subkategorie 5.6.3), den Welle-Teilchen-Dualismus (Subkategorie 5.6.5) oder den Indeterminismus der Quantenphysik (Subkategorie 5.6.8). Weiterhin nennt Schmidt diese Schwierigkeit

im Zusammenhang mit dem verfolgten Ziel 5.3.1 *Bruch zur klassischen Physik*:

„Einfach nur zu sehen: „Hallo, unser Bild, unser Weltbild, was ich bisher hatte, bedarf der Revision.“ *Und da ist es ja erstmal schwer, überhaupt jemanden dazu zu bringen, sein bisheriges Weltbild in Frage zu stellen*“ (Schmidt, SR1, 126).

Die Subkategorie 5.6.10 *Quantenphysik zu Beginn der Q1* wird nur von einer Person (Schneider) angebracht. Schneider nimmt dabei zwar Bezug auf die Lehrplan-Umstellung für den Grundkurs in NRW, aber es geht ihr weniger um Reihungseffekte als vielmehr um die altersbedingte Reife der Schüler*innen:

„Also früher hat man das ja später gemacht, zu einem späteren Zeitpunkt. *Jetzt sind die ja auch relativ jung, dadurch, dass ja G8 ist.* //I: Ja. Das kommt dann auch noch dazu.// Ich bin immer, wenn die ehm, ja, ich denke, wenn die ein bisschen älter sind, man macht das nicht jetzt zu Beginn jetzt dieser Q-Phase, dass die das vielleicht noch ein bisschen besser //I: Verstehen.// verstehen oder einordnen können. Ich weiß es nicht. Oder auch da, ja doch, mehr Verständnis erlangen“ (Schneider, I2, 32).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass unter der Kategorie 5.6 *Schwierigkeiten beim Unterrichten von Quantenphysik* (mögliche) Lernschwierigkeiten der Schüler*innen, Schwierigkeiten in der didaktischen Strukturierung von Quantenphysikunterricht und inhaltliche Verständnisschwierigkeiten der Lehrkräfte erfasst werden. Diese drei Bereiche beeinflussen sich offenkundig gegenseitig, können aber durchaus separat betrachtet werden.

Insgesamt werden von den teilnehmenden Lehrkräften die folgenden Schülervorstellungen zur Quantenphysik als (mögliche) Lernschwierigkeit ihrer Schüler*innen angegeben (vgl. Abschnitt 5.2.2):

- Mechanistisches Denken (vgl. Müller & Schecker, 2018):
 - Elektronen sind Kugeln (Meyer & Lücking).
 - Photonen sind klassische Teilchen (Kugeln) (Meyer & Kruse).
 - Quantenobjekten kann ein definierter Ort bzw. Weg zugeschrieben werden (Peters & Leinert).
 - Elektronen kreisen auf festen Umlaufbahnen um den Kern (Lücking).
- Unreflektierter Welle-Teilchen-Dualismus (vgl. Müller & Schecker, 2018; Hopf & Schecker, 2018):
 - Wellen- und Teilchenverhalten von Quantenobjekten stehen unverbunden nebeneinander („Mal-so-mal-so-Dualismus“, Müller & Schecker, 2018, 215) (Meyer & Janssen).

-
- Wellen- und Teilchenverhalten von Quantenobjekten werden als „Wellblech im Raum“ (Lücking, I1, 166) oder „Surfer“ (Kampe, SR2, 49) auf einer Welle verbunden (Lücking, Kampe & Kruse).

Weiterhin werden auf einer Metaebene zwei Schwierigkeit zum kognitiven Konflikt als Strategie für den Umgang mit Schülervorstellungen angesprochen:

- Kein Erkennen des kognitiven Konflikts (vgl. Wilhelm & Schecker, 2018):
 - „Und es ist *unglaublich schwer*, denen deutlich zu machen, wo jetzt *Abweichungen zur klassischen Physik* sind. Für die sind ja bestimmte Dinge *einfach selbstverständlich*“ (Kampe, I1, 111; vgl. Kruse).
 - „Naja ehm, für mich war klar, dass *Teilchen-Interferenzen*, dass eh sozusagen zu Interferenzfiguren führen kann, *das ist total verblüffend*. So. Eh und ich wollte ihnen [den Schüler*innen] (...) ich wollte ihnen eigentlich diese, diesen *Wellencharakter der Teilchen*, das war mir wichtig. Dass sie da irgendwie drauf kommen oder dass sie das als *Wunder der Natur* empfinden. Dass wir (...) einem Teilchen Welleneigenschaften zuschreiben können. *Das nehmen die so hin* wie eine-. *Das nehmen die genauso auf wie, wenn ich sage eh, die Vokabel eh, was weiß ich, im Italienischen //I: Heißt.// heißt „peccato“ „schade“ oder so, ne*“ (Krüger, SR1, 34).
- Beibehalten bzw. Anpassen der eigenen Sichtweise trotz Erkennen von Diskrepanzen für die Erklärung von Phänomenen (vgl. Jung, 1993; Wilhelm & Schecker, 2018):
 - „Sowohl in der Relativitäts- als auch in der Quantentheorie gibt es einige Schüler, *die es kognitiv verstanden haben, es emotional aber nicht verarbeiten wollen*“ (Schmidt, I2, 139; vgl. Lenz & Schneider).

Insgesamt wurden jedoch mehr unspezifische Aussagen erfasst, die zwar Verständnisschwierigkeiten auf Seiten der Schüler*innen zum Ausdruck bringen, aber keiner konkreten Schülervorstellung zugeordnet werden können:

„Was wir gemacht haben, das war schon das, was ich auch schaffen wollte. //I: Auch geschafft. Ja.// Erreichen in dem Sinne, *ob das dann auch jeder jetzt dann auch so verstanden hat, wie ich es gerne verstanden hätte wollen, ist eine ganz andere Frage*“ (Lücking, SR1, 18).

Anhand solcher Aussagen ist es nicht möglich zu rekonstruieren, inwieweit die jeweiligen Lehrkräfte konkrete Schülervorstellungen im Kopf haben und lediglich verkürzt verbal explizieren oder sich kognitiv oberflächlich und wenig analytisch damit auseinandersetzen. Einige Äußerungen offenbaren jedoch explizit konzeptuelle Verständnisschwierigkeiten bzw. eine wenig reflektierte Haltung der Lehrkraft:

- „Welle oder Teilchen, ehm, eine Mischung hat man nicht. Aber ehm, ja, ehm für das eine Experi/ für jeweils das Experiment, was man gerade betrachtet, muss man sich halt das geeignete Modell rausgreifen. Um es vernünftig und sauber beschreiben zu können und zu berechnen, berechnen zu können. [...] Und ehm deswegen sollte man, sollte halt der Schüler dann halt sich das richtige Modell rauspicken können“ (Peters, SR2, 33).
- I: „Und siehst du bei dem Thema besondere Lernschwierigkeiten bei den Schülerinnen und Schülern?“
 B: „Ehm (...)“
 I: „Oder so Stellen, an denen es haken könnte?“
 B: „(...) Also nicht so grundsätzlich allgemein für alle“ (Schneider, I1, 120ff.).

Insgesamt nennen drei Lehrkräfte die beiden Schülervorstellungen zur Quantenphysik mechanistisches Denken und eine naive Vorstellung zum Welle-Teilchen-Dualismus (vgl. Tabelle 8.1). Vier Lehrkräfte führen keine Schülervorstellung zur Quantenphysik an. Sechs Lehrkräfte benennen Schwierigkeiten bei der Herstellung und Auflösung eines kognitiven Konflikts bei den Schüler*innen. Es gibt keine Lehrkraft, die weder eine Schülervorstellung zur Quantenphysik noch auf einer Metaebene Strategien zum Umgang mit Schülervorstellungen thematisiert.

Person:	Klassische Denkweise	Unreflektierter Welle-Teilchen-Dualismus	Schwierigkeiten beim kognitiven Konflikt
Peters	x		
Leinert	x		
Schmidt			x
Lenz			x
Schneider			x
Krüger			x
Janssen		x	
Lücking	x	x	
Meyer	x	x	
Kampe		x	x
Kruse	x	x	x

Tabelle 8.1.: Von den teilnehmenden Lehrkräften benannte Schülervorstellungen (zur Quantenphysik).

Weitere in der Literatur identifizierte Schülervorstellungen wie Wahrscheinlichkeitsaussagen als Ungenauigkeit sowie die Unbestimmtheitsrelation als Messfehler (und infolgedessen eine Vermeidung des Begriffs *Unschärfe*) werden von keiner Lehrkraft angeführt. Weiterhin erfolgt auch keine kritische Reflexion der Verwendung des Bohr'schen Atommodells. Es lässt sich folglich festhalten, dass – trotz expliziter Nachfragen in den Interviews –

nur wenige Lehrkräfte mehr als eine Schülervorstellung zur Quantenphysik benennen (und deren Umgang im Unterricht diskutieren). Die Lehrkräfte beziehen sich bei Schwierigkeiten zum Unterrichten von Quantenphysik primär auf die eigene Wahrnehmung und weniger auf die Perspektive der Schüler*innen. Hierbei zeigen sich an mehreren Stellen Zusammenhänge zu den Selbstwirksamkeitserwartungen zum Unterrichten von Quantenphysik (Kategorie 5.1).

Die Diagnose von Schülervorstellungen und der Umgang damit scheint für die befragten Lehrkräfte daher weniger im Fokus der Unterrichtsplanung und -reflexion zu stehen – es können sogar einigen Lehrkräften eine wenig reflektierte Haltung bzw. konzeptuelle Verständnisschwierigkeiten unterstellt werden. Die Bereitstellung von MILQ könnte demnach den teilnehmenden Lehrkräften Hilfestellungen für den Umgang mit Schülervorstellungen zur Quantenphysik an die Hand geben (vgl. Tobias, 2010). Zugleich beeinflusst vermutlich die (Un-)Kenntnis über gängige Schülervorstellungen zur Quantenphysik und deren von den Lehrkräften wahrgenommene Relevanz die Materialnutzung (vgl. Tobias, 2010). Überdies zeigen sich viele Zusammenhänge zwischen den genannten Schwierigkeiten und den verfolgten Zielen (Kategorie 5.3), weshalb die genannten Schwierigkeiten vermutlich zudem von curricularen Vorstellungen abhängig sind, was wiederum die Akzeptanz von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen im Sinne einer Passung zu den eigenen verfolgten Unterrichtszielen beeinflussen könnte.

8.2.2.10. Vorstellungen zur Materialnutzung

Remillard führt bereits 2005 *perceptions of curriculum* als personenbezogene Einflussfaktoren der Materialnutzung an. Nichtsdestotrotz ist mir kein Beitrag bekannt, in dem konkrete Vorstellungen zur Materialnutzung benannt werden. Daher stellen bereits die induktiv entwickelten Subkategorien von Kategorie 3.1 per se einen Erkenntnisgewinn dar. Wie bereits in Unterabschnitt 7.2.2.3 berichtet, ließen sich für viele der entwickelten Subkategorien Hinweise in anderen Untersuchungen finden, was deren Plausibilität bestärkt.

Bei der Darstellung der Ergebnisse zu den Vorstellungen zur Materialnutzung wird auf eine Präsentation der durchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeit je Subkategorie verzichtet, da es sich um Vorstellungen auf globaler Ebene und somit auf einer tiefen Verfestigungsebene handelt. Die Relevanz braucht folglich nicht anhand der Nennungshäufigkeit abgeleitet zu werden. Hinzu kommt, dass insgesamt nur wenige Textpassagen hinsichtlich dieser Kategorie codiert wurden, weshalb die relative Nennungshäufigkeit ohnedies wenig aussagekräftig ist. Insofern ist eine dichotome Einschätzung angemessen (vgl. Abb. 8.13). Im Schnitt können jeder Lehrkraft 2,4 Vorstel-

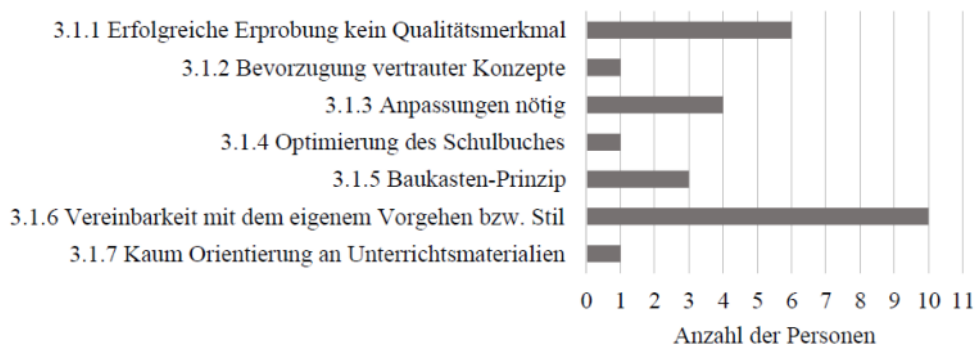


Abbildung 8.13.: Anzahl der Personen mit Aussagen zur jeweiligen Vorstellung zur Materialnutzung.

lungen zur Materialnutzung zugeordnet werden (Minimum: 1; Maximum: 4). Die Subkategorie *3.1.1 Erfolgreiche Erprobung kein Qualitätsmerkmal* verdeutlicht einen geringen Stellenwert einer empirischen Evaluation materialgestützter Unterrichtskonzeption, was bei sechs Lehrkräfte (Peters, Kruse, Lenz, Schneider, Lücking & Kampe) feststellbar ist.

„Ob das jetzt jemand vorher schon probiert hat oder nicht, das ist mir ziemlich egal eigentlich. Und ich finde auch, selbst wenn, ehm also, selbst wenn das der eine schonmal ausprobiert hat, kann das bei einem selber wieder ganz anders laufen, ja“ (Kruse, I1, 88).

Die betreffenden Lehrkräfte stützen sich stattdessen auf ihr subjektives Erfahrungswissen bzw. ihr Bauchgefühl (vgl. Fischler, 2003): „Ich gucke mir das an und denke für mich: Könnte funktionieren“ (Lenz, I1, 100). Diese Vorstellung muss zwar nicht notwendigerweise implementationshemmend sein für den Transfer evidenzbasierter Innovation in die Praxis, kann aber zumindest nicht als implementationsförderlich bewertet werden.

Die Subkategorie *3.1.2 Bevorzugung vertrauter Konzepte* wird nur bei einer Lehrkraft (Krüger) festgestellt.

„Ja, das ist mein Lieblingsbuch. Ich glaube, das liegt einfach daran, dass ich den schon zu Studienzeiten am Ende meines Studiums zugelegt habe. Und ehm immer, wenn ich was nicht verstanden habe, dann habe ich es im Metzler nachgelesen“ (Krüger, I2, 84).

Erfasst wird nicht die übliche Routinebildung erfahrener Lehrkräfte, sondern die pragmatische Bevorzugung materialbasierter Unterrichtskonzeptionen, die häufig bereits aus der eigenen Schulzeit oder Ausbildungszeit bekannt sind (vgl. *2.1.1 Didaktische Innovationsbereitschaft* und *2.1.3 Pragmatisches Verhalten*). Diese Vorstellung stellt folglich grundsätzlich eine ungünstige Voraussetzung für die Implementierung fachdidaktischer Innovation dar.

Die Subkategorie *3.1.3 Anpassungen nötig* wurde bei den Lehrkräften Lenz, Schneider, Leinert und Kampe codiert. Die betreffenden Lehrkräfte sind der Ansicht, dass Materialien selten eins zu eins in den Unterricht übertragbar sind, sondern in der Regel einer Adaption auf die jeweiligen Schüler*innen bedürfen (dies trifft auch auf selbsterstellte Materialien zu), wie bei dem folgenden Zitat deutlich wird:

„Deswegen also muss man, also finde ich, muss man schon gucken so, aus welchen Büchern man was *für die Schüler zusammenstellt* und wie man das macht. *Also ich konnte noch nie mir DAS Lehrbuch nehmen, das wir gerade haben, und NUR mit diesem Buch arbeiten*“ (Schneider, I1, 43).

Diese Lehrkräfte nehmen folglich Zeit und Anstrengungen für eine Adaption und Weiterentwicklung von Materialien zugunsten der Schüler*innen in Kauf. Der Berücksichtigung des Vorwissens der Schüler*innen (Subkategorie 1.3) wird hierbei ein hoher Stellenwert eingeräumt. Dieser Vorstellung liegt ein autonomes Handeln zugrunde – eine enge Orientierung an bereitgestellten Unterrichtskonzeptionen widerspricht diesem Vorgehen.

Die Subkategorie *3.1.4 Optimierung des Schulbuches über die Zeit* findet sich zwar nur bei einer Lehrkraft (Schmidt), ist aber insofern sehr aussagekräftig, da das Schulbuch die Ausgangsbasis des eigenen Vorgehens und für den Vergleich mit anderen Materialien bildet. Es handelt sich bei Schmidt um eine erfahrene Lehrkraft, sodass die enge Orientierung am Schulbuch nicht auf mangelnde Unterrichtserfahrung zurückzuführen ist.

„Weil die Leute, die das Buch machen, die haben ja wirklich Erfahrung. *Also kann man sich da zu 95% darauf verlassen* und das ist in Ordnung. Und die ändern dann was, wenn es nicht funktioniert. *Das heißt, das macht kaum jemand, dass er hingeht und macht eine komplett neue Reihenplanung*. Da würden wir viele Fehler machen, die die im Buch schon ausgemerzt haben“ (Schmidt, I2, 30).

Begründet wird diese Vorstellung mit der Qualität von Schulbüchern und aufgrund zeitökonomischer Gesichtspunkte (Subkategorie 2.1.3). Interessant ist, dass eine andere Lehrkraft eine gegenteilige Vorstellung innehat: „Meistens sind die neuen [Schulbücher] nicht besser als die alten, höchstens schlechter“ (Peters, I1, 106). Die Einschätzung der Qualität von Schulbüchern wird folglich durchaus unterschiedlich bewertet.

Die Subkategorie *3.1.5 Baukasten-Prinzip* wird von den drei Lehrkräften Lenz, Janssen und Meyer genannt. Sie bevorzugen eine modulare Nutzung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen:

„Also meiner Meinung nach sind diese Themen *viel zu sehr aufeinander aufgebaut*. *Ich würde mir lieber etwas Modulares wünschen*. Wo man sich selber als

Lehrer dann eben aus diesem Material lieber was raussuchen könnte“ (Lenz, SR1, 11).

Ähnlich wie bei der Subkategorie *3.1.3 Anpassungen nötig* hängt diese Vorstellung mit einem hohen Grad an Eigenständigkeit zusammen. Die Übernahme eines zugrundeliegenden Konzepts wird nicht angestrebt, der Fokus richtet sich vielmehr auf die Implementierung konkreter (einzelner) Maßnahmen für den direkten Einsatz im Unterricht (vgl. Abschnitt 3.3.3). Dieses Vorgehen ist daher in der Regel pragmatisch geprägt (vgl. Subkategorie 2.1.3). Man könnte vermuten, dass diese Vorstellung mit viel Berufserfahrung und einem großen Repertoire einhergeht – was allerdings zumindest auf Meyer als Berufsanfänger nicht zutrifft.

Interessant ist, dass die Subkategorien *3.1.3 Anpassungen nötig* und *3.1.5 Baukasten-Prinzip* bei keiner der befragten Lehrpersonen gemeinsam auftreten. Möglicherweise ist das darauf zurückzuführen, dass es sich um unterschiedliche Herangehensweisen handelt: Entweder man verwendet vorhandene Materialien und schneidet sie auf die eigenen Bedürfnisse zu oder man sucht gezielt nach Materialien, die zu einem passen, und integriert diese in das eigene Vorgehen. Bemerkenswert ist, dass die Bereitstellung von Modulen von einer anderen Lehrkraft aus der Stichprobe explizit kritisiert wird:

„Man hat ja auch manchmal *die Krux, dass Dinge einfach nicht zusammenpassen und eben nicht von einem Thema zum anderen überleiten*. Und hm, ja, wenn man dann halt zum Beispiel ein interessantes Applet gefunden hat, also digitale Aufarbeitungen. In der Mittelstufe zum Beispiel über das U-Boot. *Dann muss man ja auch irgendwie hinleiten zu diesem Thema. Und man muss davon dann auch wieder zum nächsten Thema kommen. Und sonst wirkt das so kästchenweise*“ (Leinert, SR2, 68).

Dieses Beispiel demonstriert, dass die Vorstellungen zur Materialnutzung und das daraus resultierende Nutzungsverhalten individuell sehr unterschiedlich ausgeprägt sind.

Die Subkategorie *3.1.6 Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen bzw. Stil* tritt bei zehn der teilnehmenden Lehrkräfte (allen außer Lücking) auf und ist damit die am häufigsten vertretene Vorstellung. Dies ist u.a. darauf zurückzuführen, dass die jeweiligen Lehrkräfte sich oftmals nur vage ausdrücken und es daher häufig unklar bleibt, was genau unter dem eigenen Vorgehen bzw. Stil verstanden wird. Eine typische Äußerung stellt bspw. das folgende Zitat dar:

„Also ehm ich muss für mich *das Gefühl haben*, das finde ich jetzt interessant, *das könnte ich mir für mich vorstellen*. Es muss ja auch immer so ein bisschen *zur eigenen Lehrperson passen*“ (Kruse, I1, 88).

Diese Vorstellung bringt zum Ausdruck, dass den betreffenden Lehrkräften ein autonomes und individuelles Vorgehen wichtig ist. Es ist zu vermuten, dass dieser Vorstellung ähnliche Motive wie der Subkategorie *3.1.2 Bevorzugung vertrauter Konzepte* zugrundeliegen, diese jedoch nicht explizit geäußert werden. Denn offensichtlich halten die jeweiligen Lehrkräfte an einem bewährten Vorgehen fest, welches möglicherweise auf impliziten Qualitätskriterien aufbaut. Möglicherweise liegen dieser Vorstellung auch wahrgenommene Erwartungshaltungen einer „guten“ Lehrkraft zugrunde – dies kann jedoch aus den Äußerungen der Haupterhebung nicht gefolgert werden, es gibt lediglich eine Aussage aus der Pilotierung, die dies nahelegt:

„Denn ich bin auch in meiner eigenen Schulzeit, sage ich mal, damit groß geworden, *dass die Lehrer keine Bücher benutzt haben*, sondern das in sich gemacht haben. Vielleicht ist das auch so ein bisschen im Hinterkopf. //I: Haben Sie das auch so bisschen. . . // Und ich finde es, ehrlich gesagt, als zum Teil manchmal ein bisschen, in Anführungsstrichen auch wieder billig, einfach zu sagen, so jetzt machen wir die nächste Seite und gehen das einfach so durch. Denn ich finde, das hat, braucht eigentlich, es hat oder *ich habe eigentlich einen höheren Anspruch, als irgendwie nur so Lehrbuch Seite für Seite durchzublättern*“ (Pilotierung: Amedick, I1, 43).

Hinweise für solche wahrgenommenen externen Erwartungshaltungen finden sich ebenfalls bei Forbes (2013).¹⁰⁰ Da sich keine Lehrkraft in der Haupterhebung in diese Richtung äußert, kann diese Vermutung mit dem vorliegenden Datenmaterial nicht abschließend geklärt werden.

Es fällt auf, dass die Subkategorie *3.1.3 Anpassungen nötig* nur Lehrkräften zugeordnet wurde, die ebenfalls der Subkategorie *3.1.6 Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen bzw. Stil* zugeordnet wurden. Hierbei könnte es sich lediglich um einen zufälligen Zusammenhang handeln, da die letztere Vorstellung bei zehn (von elf) Lehrkräften identifiziert wurde. Es ist allerdings durchaus plausibel anzunehmen, dass beide Vorstellungen inhaltlich zusammenhängen, da die betreffenden Lehrkräfte Wert auf eine eigenständige Gestaltung von Unterricht legen. Gleiches trifft auch auf die Subkategorien *3.1.5 Baukasten-Prinzip* und *3.1.6 Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen bzw. Stil* zu.

Der Anspruch der Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen kann bei Diskrepanzen zu einer bereitgestellten fachdidaktischen Innovation hinderlich sein, da auf diese Weise bei den betreffenden Lehrkräften kein *conceptual change* eintritt (vgl. Gregoire, 2003; Gräsel & Parchmann, 2004).

¹⁰⁰Eine Grundschullehrkraft sagt demzufolge: „It is definitely crucial to make adoptions to science curriculum materials. If you [don't], you are not doing your job as a teacher“ (Forbes, 2013, 187).

Die Subkategorie *3.1.7 Kaum Orientierung an Unterrichtsmaterialien* tritt nur bei einer Lehrperson (Janssen) auf.

„Ob ich das beim nächsten Mal wieder so machen würde, weiß ich nicht. Bin da immer recht spontan. Ich schreibe mir auch nicht auf- //I: Ja kann man ja gucken, was funktioniert.// *Ich schreibe auch nicht auf, wie mein Unterrichtsgang ist, ich erfinde das Rad jedes Mal wieder neu.* Aber ich finde, das lässt, oder lässt den Beruf auch weiterleben, ne“ (Janssen, I2, 22).

Janssen bezeichnet sich selber als „Eigenbrötler“ (Janssen, I2, 24), was untermauert, dass er sehr eigenständig agiert und sich insgesamt wenig an bereitgestellten Materialien orientiert. Dies spricht für eine große Expertise und ein großes Repertoire, was sich darin bestätigt, dass die betreffende Lehrperson als Fachleiter tätig ist.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die meisten der vorgestellten Vorstellungen zur Materialnutzung von einem großen Bedürfnis nach Autonomie und individuellem Vorgehen zeugen. Die Lehrkräfte sehen sich in der Rolle von autonom agierenden Expert*innen mit großen Entscheidungsspielräumen, welche teilweise eine große Bereitschaft in der Überarbeitung und Adaption von Materialien aufweisen. Tendenziell lässt sich allerdings eine eher geringe Innovationsbereitschaft aus den geäußerten Vorstellungen ableiten. Da es sich um übergeordnete Nutzungsprinzipien handelt, ist anzunehmen, dass diese Vorstellungen einen großen Einfluss auf die Materialnutzung haben. Daher wird darauf im weiteren Verlauf an mehreren Stellen erneut Bezug genommen.

8.2.3. Materialbezogene Merkmale

8.2.3.1. Inhaltliche Materialnutzungskriterien

Bei den inhaltlichen Materialnutzungskriterien fällt auf, dass viele Subkategorien von einem Großteil der befragten Lehrkräfte genannt werden (vgl. Abb. 8.14), aber hinsichtlich der durchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeit eindeutig die Subkategorie *3.2.5 Gutes Angebot an Aufgaben* dominiert (vgl. Abb. 8.15). Daraus lässt sich schließen, dass dieses Kriterium einen besonders hohen Stellenwert bei der Materialauswahl spielt.

Im Folgenden werden die Befunde zu den einzelnen Subkategorien genauer vorgestellt. Die Subkategorie *3.2.1 Interessant für die Lehrkraft* wird fünf Lehrkräften (Peters, Kruse, Schneider, Krüger & Janssen) zugeordnet. Somit wird diese Subkategorie im Vergleich zu anderen inhaltlichen Materialnutzungskriterien nur von wenigen Personen und weiterhin mit einer niedrigen relativen Nennungshäufigkeit genannt. Es ist daher zu vermuten, dass diese Subkategorie für die betreffenden Lehrkräfte nicht in erster Linie handlungsleitend ist. Nichtsdestotrotz ist die Angabe dieses Kriteriums

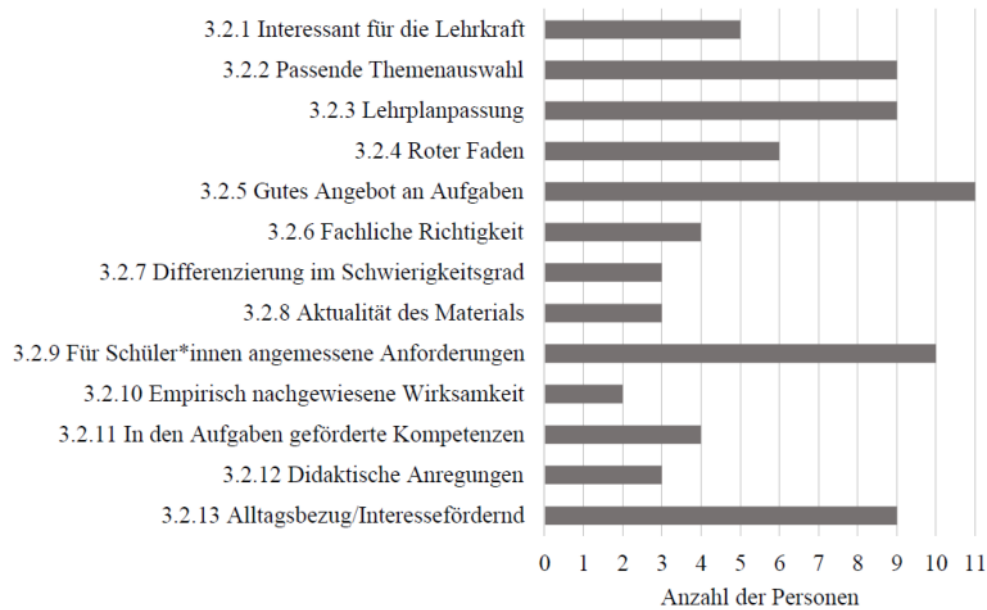


Abbildung 8.14.: Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen inhaltlichen Materialnutzungskriterium.

bemerkenswert, weil die betreffenden Lehrkräfte dadurch neuen Materialien und Ansätzen eine durchaus offene und aufgeschlossene Haltung entgegenbringen, diese allerdings primär aus selbstbezogenen Motiven und nicht aus einer Lernendenperspektive begründet wird: „So wird es für mich dann auch nicht langweilig“ (Janssen, SR1, 39). Vermutlich kann aus diesem Grund kein direkter Zusammenhang zur didaktischen Innovationsbereitschaft (Subkategorie 2.1.1) beobachtet werden.

Alle fünf betreffenden Lehrkräfte führen auch Ziele über den Lehrplan hinaus (Subkategorie 2.2.1) an – möglicherweise ist dieser Zusammenhang nicht bedeutsam, er könnte aber auch darauf hinweisen, dass die Lehrkräfte sowohl in der curricularen Schwerpunktsetzung als auch in der Auswahl von Materialien nach eigenem Ermessen und eigenen Interessen handeln. Diese Hypothese lässt sich allerdings mit dem vorliegenden Datenmaterial nicht abschließend klären.

Die Subkategorie *3.2.2 Passende Themenwahl* wird von neun Personen (allen außer Janssen & Kampe) angeführt. Zudem wird sie im Vergleich zu anderen inhaltlichen Materialnutzungskriterien recht häufig genannt. Insofern handelt es sich höchstwahrscheinlich um ein relevantes Kriterium bei der Materialauswahl, wobei sie mit einer durchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeit von 10 % deutlich seltener auftritt als die am häufigsten genannte Subkategorie *3.2.5 Gutes Angebot an Aufgaben* mit rund 40 %. Die betreffenden Lehrkräfte legen Wert auf bestimmte inhaltliche Schwerpunktsetzungen und dazu passende Materialien. Dabei handelt es sich möglicherweise in ei-

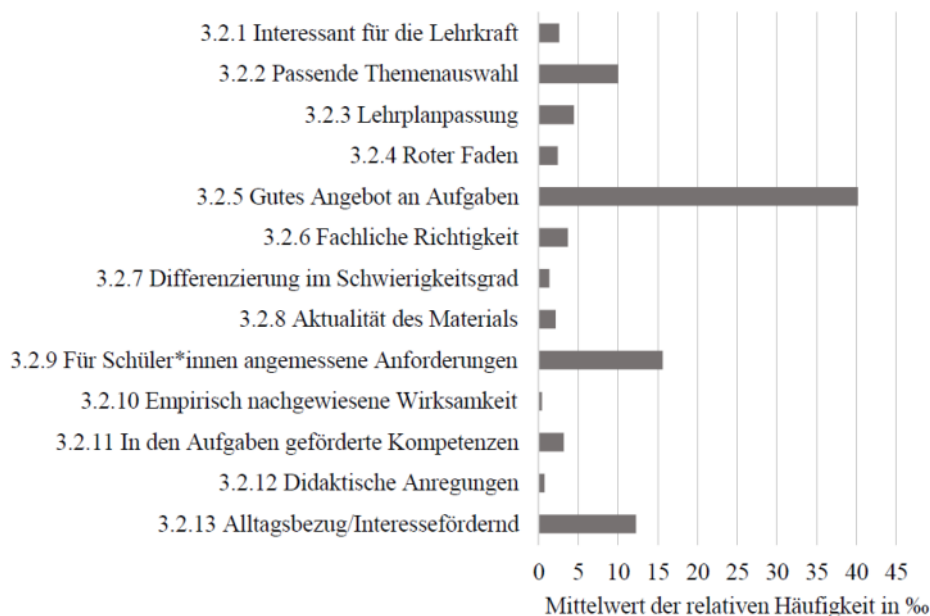


Abbildung 8.15.: Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings pro Person je inhaltlichem Materialnutzungskriterium.

nigen Fällen um eine Manifestation der übergeordneten Materialvorstellung *3.1.6 Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen bzw. Stil*. Die betreffenden Lehrkräfte suchen gezielt nach Elementen, die sie in die von ihnen gewählte curriculare Abfolge integrieren bzw. als Orientierungshilfe nutzen können und wägen bei Alternativen bewusst den Mehrwert der verschiedenen Alternativen gegeneinander ab:

„Im Dorn-Bader ist zum Beispiel das *Zwillingsparadoxon* nicht drin. Aber das ist was, *das ist fast Allgemeinbildung*, da muss man drüber reden, wenn man das macht. Das ist nicht drin, ne? //I: Okay.// *Dann habe ich das ergänzt um einen sehr schönen Filmbeitrag, der eh zum Einsteinjahr im ZDF gelaufen ist*“ (Schmidt, II, 170).

Diese Subkategorie spiegelt eine autonome Vorgehensweise wider. Ein direkter Zusammenhang mit der Vorstellung *3.1.5 Baukasten-Prinzip* wäre zwar naheliegend, wird aber nicht beobachtet. Ein anderes Motiv dieses Kriteriums könnte in einigen Fällen die Umsetzung vorgegebener Inhalte aus dem Lehrplan bilden – was sich allerdings aus den getätigten Äußerungen nicht direkt ableiten lässt.

Die Lehrplanpassung (Subkategorie 3.2.3) wird von neun Lehrkräften (allen außer Kruse & Leinert) als Materialnutzungskriterium angeführt. Die Berücksichtigung der Vorgaben durch den Lehrplan (Subkategorie 2.2.2) konnte bereits als wichtige Rahmenbedingung festgestellt werden, sodass es etwas

überrascht, dass dieser Aspekt als Materialnutzungskriterium nur eine geringe relative Nennungshäufigkeit aufweist. Womöglich wird dieses Kriterium als so selbstverständlich angesehen, dass es seltener wiederholt geäußert wird. Eine andere Möglichkeit ist, dass dieses Kriterium anderen Subkategorien unterschwellig zugrundeliegt und daher weniger expliziert wird. Dies könnte, wie bereits erwähnt, in Bezug auf *3.2.2 Passende Themenwahl* der Fall sein. Auch die Nutzung von Schulbüchern (Subkategorie 3.4.1) könnte u.a. darin begründet liegen, dass sich Schulbücher am Lehrplan orientieren, was allerdings in den Interviews kaum als Grund angegeben wird. Jedenfalls ist zu vermuten, dass es sich bei dieser Subkategorie um ein notwendiges Materialnutzungskriterium handelt, welches als Grundlage für eine weitere Materialnutzung erfüllt sein sollte.

Die Subkategorie *3.2.4 Roter Faden* wird von sechs Lehrkräften (Peters, Kruse, Schmidt, Lenz, Janssen & Meyer) genannt. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit fällt hierbei gering aus, sodass es sich vermutlich um kein zentrales Auswahlkriterium handelt. Beim roten Faden beziehen sich die betreffenden Lehrkräfte entweder auf Materialien „in einer sinnvollen physikalischen Reihenfolge“ (Schmidt, I1, 152) – also mit einer fachsystematischen Themenabfolge (Subkategorie 1.4) – oder auf Materialien, die für Schüler*innen „ein schlüssiges Konzept“ (Meyer, I2, 32) bilden.

Es erscheint widersprüchlich, dass alle Lehrkräfte mit der Vorstellung zur Materialnutzung *3.1.5 Baukasten-Prinzip* die Subkategorie *3.2.4 Roter Faden* als Materialnutzungskriterium angeben. Vermutlich handelt es sich bei der Äußerung von Subkategorie *3.2.4 Roter Faden* um eine subjektive Theorie mittlerer Reichweite nach Wahl (1991), da dieses Kriterium immer auf Nachfragen der Interviewerin, auf welche Kriterien die jeweilige Lehrkraft bei der Materialauswahl Wert legt, genannt wurde. Im Gegensatz dazu kann die Subkategorie *3.1.5 Baukasten-Prinzip* aufgrund ihrer globalen Beschaffenheit und tiefen Verfestigungsebene als subjektive Theorie geringer Reichweite und somit als unmittelbar handlungsleitend eingestuft werden. Wenn diese Hypothese zutreffen sollte, würde das bedeuten, dass die betreffenden Lehrkräfte zwar angeben, dass ihnen ein roter Faden in Unterrichtsmaterialien wichtig ist, dies aber bei der eigentlichen Materialauswahl nicht unmittelbar handlungsleitend ist, sondern stattdessen aufgrund des Handelns unter Druck die modulare Nutzung zum Tragen kommt.

Die Subkategorie *3.2.5 Gutes Angebot an Aufgaben* wird von allen teilnehmenden Lehrkräften genannt und weist zudem die höchste durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit aller inhaltlichen Materialnutzungskriterien auf. Dies bestätigt die Befunde von Merzyn (1994) sowie Härtig, Kauertz und Fischer (2012), wonach die Auswahl von Aufgaben bei der Materialnutzung von Physiklehrkräften eine zentrale Rolle spielt. Die Subkategorie wurde allerdings auch recht großzügig vergeben, sodass sie insbesondere in den *sti-*

mulated recalls bei der Nachbesprechung von Arbeitsblättern sehr häufig vorkommt.

Die Äußerungen der befragten Lehrkräfte zu dieser Subkategorie lassen sich weiter nach den folgenden Gesichtspunkten unterteilen: (a) Funktionen von Aufgaben, (b) Kriterien für „gute“ Aufgaben, (c) Materialien, in denen nach Aufgaben gesucht wird, und (d) die Einbettung von Aufgaben in den Unterricht. Bei den Funktionen der eingesetzten Aufgaben (a) unterscheiden die befragten Lehrkräfte zwischen Übungsaufgaben (Üben für die nächste Klausur, Subkategorie *2.2.3 Zuarbeit auf die nächste Klausur*, oder für das Zentralabitur, häufig anhand früherer Abituraufgaben, Subkategorie *3.2.3 Lehrplanpassung*), Anwendungs- oder Vertiefungsaufgaben, die zur Erarbeitung inhaltlicher Aspekte wie bspw. dem Gegensatz von klassischer Physik und Quantenphysik genutzt werden, sowie Aufgaben als Diagnoseinstrument (Wissensabfrage). Als Kriterien für „gute“ Aufgaben (b) nennen vier Lehrkräfte (Lenz, Krüger, Janssen & Kampe) ein angemessenes Anforderungsniveau für die Schüler*innen (Subkategorie *1.3 Berücksichtigung des Vorwissens* & *3.2.9 Für Schüler*innen angemessene Anforderungen*) und vier Lehrkräfte (Schneider, Krüger, Lücking & Meyer) die in den Aufgaben geförderten Kompetenzen (Subkategorie *3.2.11*). Lücking und Meyer nennen weiterhin noch die Differenzierung im Schwierigkeitsgrad (Subkategorie *3.2.7*) als explizites Auswahlkriterium von Aufgaben. Auf diese Kriterien für geeignete Aufgaben wird im weiteren Verlauf noch näher eingegangen. Insgesamt bleiben viele Aussagen jedoch vage in Hinsicht auf Indikatoren oder Kriterien für qualitativ hochwertige Aufgaben. Es bleibt offen, ob die befragten Lehrkräfte lediglich aufgrund ihres routinierten Handelns keine konkreten Kriterien explizieren oder auf einer heuristischen Basis Aufgaben auswählen.

Die von den Lehrkräften angegebenen Materialien zur Suche nach Aufgaben (c) werden unter *3.4 Genutzte Materialien zur Unterrichtsvorbereitung oder im Unterricht* vorgestellt. Bei der Einbettung von Aufgaben im Unterricht (d) geben die befragten Lehrkräfte an, Aufgaben als Hausaufgaben auszulagern oder gezielt Musterlösungen zur Verfügung zu stellen, sodass im Unterricht nur noch ungeklärte Fragen besprochen werden müssen (vgl. Subkategorie *2.2.9 Zur Verfügung stehende Unterrichtszeit*). Weiterhin reflektieren einige Lehrkräfte in den *stimulated recalls* die Arbeitsaufträge auf ihren Arbeitsblättern und wägen zwischen dem Grad der Offenheit und der veranschlagten Zeit ab (vgl. Subkategorie *1.1 Schüleraktivierend*, *1.2 Lehrgelenkt*, *2.1.3 Pragmatisches Verhalten* & *2.2.9 Zur Verfügung stehende Unterrichtszeit*). Viele Lehrkräfte entscheiden sich für eher gelenkte Arbeitsaufträge.

Die Subkategorie *3.2.6 Fachliche Richtigkeit* wird von den Lehrkräften Peters, Schmidt, Leinert und Kampe als Auswahlkriterium benannt. Die

durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit fällt gering aus. Vermutlich ist die fachliche Richtigkeit für viele Lehrkräfte ein selbstverständliches Kriterium, weshalb sie von vielen nicht explizit geäußert wird. Möglicherweise hat für die zuvor genannten vier Lehrkräfte eine hohe inhaltliche Qualität jedoch einen besonders hohen Stellenwert:

„Für *Wikipedia* ist einfach dranzukommen, *es ist normalerweise fundiert*, weil nicht nur einer es schreibt. Sondern, weil andere Leute es lesen und *wenn da Blödsinn steht, dann finden sich Leute, die das sagen*. [...] *Aber wenn jemand einfach nur ein Buch schreibt, ein Autor ein Buch schreibt, dann sind da jede Menge Fehler drin*. Das ist ganz normal. Weil einfach nur einer reingeguckt hat. Und bei *Wikipedia* gucken sehr viele Leute rein. Also sind die Sachen gerade in dem Bereich häufig verlässlicher. Gerade bei Wissenschaft“ (Schmidt, SR1, 78).

Insbesondere Schmidt fällt hier mit einer relativen Nennungshäufigkeit von 28 ‰ auf (die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit für die vier Lehrkräfte Peters, Schmidt, Leinert und Kampe liegt bei 10 ‰). Diese Tatsache wird in den Fallbeschreibungen im Unterkapitel 8.3 erneut aufgegriffen. Ein Zusammenhang mit einer tiefgehenden fachlichen Reflexion (Subkategorie 6.1.2) ist nicht unbedingt festzustellen.

Die Subkategorie 3.2.7 *Differenzierung im Schwierigkeitsgrad* wird von drei Lehrkräften (Schmidt, Lücking & Meyer) genannt. Dabei handelt es sich in der Regel um ein Auswahlkriterium für Aufgaben (Subkategorie 3.2.5). Aus den Äußerungen kann nachvollzogen werden, dass dieses Kriterium aus der Vorstellung zum Lehren und Lernen 1.3 *Berücksichtigung des Vorwissens* resultiert. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit ist jedoch sehr niedrig, sodass es sich vermutlich um ein nebensächliches Materialnutzungskriterium handelt.

Die Aktualität von Materialien (Subkategorie 3.2.8) wird von den Lehrkräften Kruse, Schneider und Krüger als Materialnutzungskriterium aufgelistet. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit über die gesamte Stichprobe ist mit 2 ‰ sehr niedrig, daher scheint es sich ebenfalls um ein nebensächliches Kriterium zu handeln. Die drei Lehrkräfte nennen die Subkategorie jedoch im Schnitt mit einer relativen Nennungshäufigkeit von 8 ‰ – was zwar immer noch im Vergleich zu anderen Subkategorien eher wenig ist, aber dennoch als Indiz zu werten ist, dass für diese drei Lehrkräfte die Aktualität durchaus eine bedeutendere Rolle zukommt:

„Also dass man ehm, ja dass man offen ist auch für *neue ehm Informationen*, das ist ein wichtiges Kriterium, finde ich. *Weil die Wissenschaft bleibt nicht stehen*. Also es kommt immer wieder ehm //I: Auch was dazu.// neue Erkenntnisse dazu“ (Schneider, I1, 51).

Die Subkategorie *3.2.9 Für Schüler*innen angemessene Anforderungen* wird von zehn Lehrkräften (alle außer Lücking) als Materialnutzungskriterium angeführt. Diese Subkategorie weist die zweit höchste relative Nennungshäufigkeit aller inhaltlichen Materialnutzungskriterien auf und ist somit als hochrelevant für die Materialauswahl einzustufen. In der Regel geben die betreffenden Lehrkräfte an, ihre Schüler*innen nicht überfordern zu wollen, aber es gibt auch einige wenige Aussagen, aus denen hervorgeht, dass die jeweiligen Lehrkräfte ihre Schüler*innen nicht unterfordern möchten. Um diese Forderung zu erfüllen, resümieren viele der betreffenden Lehrkräfte, dass es notwendig ist, Anpassungen an Materialien vorzunehmen. Daher tritt diese Subkategorie auch teilweise gemeinsam mit der allgemeinen Vorstellung zur Materialnutzung *3.1.3 Anpassungen nötig* auf.

Auffällig ist, dass diese Subkategorie wesentlich häufiger im Einstiegsinterview als in den restlichen Interviews genannt wird (22 ‰ gegenüber 3 ‰). Diese deutliche Abweichung deutet darauf hin, dass diesem Kriterium eine subjektive Theorie mittlerer Reichweite zugrundeliegt (vgl. Wahl, 1991).

Lediglich Schmidt und Lücking nennen eine empirisch nachgewiesene Wirksamkeit (Subkategorie 3.2.10) als Auswahlkriterium für Materialien. Da allerdings Lücking ebenfalls der Subkategorie *3.1.1 Erfolgreiche Erprobung kein Qualitätsmerkmal* zugeordnet wurde, kann dieses Kriterium für ihn keinen hohen Stellenwert haben. Er erläutert:

„Ich sage mal Arbeitsblätter *für eine einzelne Stunde* oder so. *Da wäre mir das ziemlich wurscht*, das lese ich mir durch und, wenn ich sage, das ist eine interessante Frage, die passt jetzt genau zu dem, was wir gerade machen, dann nehme ich sie. [...] Ehm wenn es jetzt so Material ist, ehm, *ein ganzes Unterrichtskonzept* eh, [...] dann wäre schon wichtig zu wissen, ehm, *wer hat das entwickelt, getestet. Unter welchen Bedingungen ist das erfolgsversprechend?* Worauf müssen wir dann so achten. [...] Habe ich eine einzelne Unterrichtsstunde in den Wind geschossen im Zweifel. [...] *Gut, dann ist die Stunde weg, aber ehm, ich sage mal so, ein ganzes Konzept, das dann für den Ofen ist*“ (Lücking, II, 95ff.).

Die Nennungshäufigkeit ist überdies sehr gering, da die beiden Lehrkräfte nur im Einstiegsinterview auf eine explizite Frage der Interviewerin dazu äußern. Daher ist zu vermuten, dass die betreffenden Lehrkräfte nicht von sich aus diesen Aspekt angeführt hätten, sodass eine empirisch nachgewiesene Wirksamkeit für die gesamte Stichprobe kaum eine Relevanz bei der Materialauswahl zu haben scheint. Aus den wenigen Aussagen wird darüber hinaus deutlich, dass die betreffenden Lehrkräfte unter einer empirischen Evaluation primär an eine Erprobung durch Kolleg*innen (also nach Gräsel (2019) die unterste Stufe der Evidenzhierarchie, vgl. Abschnitt 3.3.3) verstehen. Eine wissenschaftliche Evaluation scheint kaum jemand in Erwägung zu

ziehen bzw. präsent zu haben. Das könnte sich möglicherweise negativ auf die Akzeptanz von MILQ auswirkend und somit implementationshemmend sein.

Die in Aufgaben geförderten Kompetenzen (Subkategorie 3.2.11) werden von den vier Lehrkräften Schneider, Krüger, Lücking und Meyer als weiteres Materialnutzungskriterium angegeben. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit ist niedrig, sodass dieses Kriterium vermutlich eher nebensächlich bei der Materialauswahl ist. Allerdings sticht hier Meyer mit einer relativen Nennungshäufigkeit von 22 %o hervor (der Durchschnitt für die vier Lehrkräfte, die dieser Subkategorie zugeordnet werden, liegt bei 9 %o). Für ihn scheint dieses Kriterium folglich von größerer Bedeutung als für die restlichen Lehrkräfte zu sein.

Dieses Kriterium wird augenscheinlich als ein Auswahlkriterium für Aufgaben angelegt, weshalb es typischerweise mit Subkategorie 3.2.5 *Gutes Angebot an Aufgaben* gemeinsam genannt wird. Lücking führt dies noch weiter aus und sagt, er möchte mit Aufgaben zum Nachdenken anregen und „nicht immer diese eingefahrenen Aufgabenmuster, ehm, immer nur wieder abbe[n]“ (Lücking, I1, 93). Lücking ist die einzige Lehrkraft aus der Stichprobe, deren Äußerungen so ausgelegt werden können, dass sie über reine Routineaufgaben hinaus auch Problemlösefähigkeiten fördern möchte. Das bedeutet im Umkehrschluss nicht, dass andere Lehrkräfte dieses Ziel nicht verfolgen, es ist jedoch anzunehmen, dass eine problemlöseorientierte Aufgabekultur für sie einen wesentlich geringeren Stellenwert einnimmt.

Das Auswahlkriterium 3.2.12 *Didaktische Anregungen/Strategien zum Umgang mit Schülervorstellungen* nennen die Lehrkräfte Schmidt, Janssen und Meyer mit einer niedrigen Nennungshäufigkeit. Weiterhin wird dieses Kriterium von allen drei Lehrkräften nur im Einstiegsinterview angeführt, was als Indiz für eine geringe Handlungsnähe interpretiert werden kann. Eine andere Auslegungsmöglichkeit ist, dass es für die nachbesprochenen Unterrichtsstunden lediglich keinen Anlass gab, Materialien mit didaktischen Anregungen auszusuchen. Insgesamt scheint dieses Kriterium jedenfalls keine bedeutende Rolle bei der Materialauswahl zu spielen, was bei erfahrenen Lehrkräften auch nicht unbedingt zu erwarten wäre. Im Zusammenhang mit den bereits vorgestellten Äußerungen zu Schwierigkeiten beim Unterrichten von Quantenphysik (Kategorie 5.6) ist allerdings fraglich, inwieweit die teilnehmenden Lehrkräfte bereits über ein umfassendes Wissen zu (und Strategien im Umgang mit) Schülervorstellungen verfügen und daher keinen Weiterbildungsbedarf äußern oder wenig sensibilisiert dafür sind. Dieser geringe wahrgenommene Weiterbildungsbedarf hinsichtlich didaktischer Gesichtspunkte könnte sich implementationshemmend auf die Nutzung von MILQ auswirken.

Die Subkategorie *3.2.13 Alltagsbezug/interessefördernd* wird von neun Lehrkräften (allen außer Kruse & Lücking) und darüber hinaus relativ häufig angegeben. Demnach scheint es sich um ein wichtiges inhaltliches Materialnutzungskriterium zu handeln. Die folgenden Aspekte werden als interessefördernd angebracht: (a) Kontextorientierung (z.B. Historie: Nobelpreis für Einstein für den Photoeffekt; Biologie/Medizin: Sonnenbrand durch UV-Strahlung; Gesellschaft: Energiesparen), (b) die Behandlung von Phänomenen (Schüler*innen Anwendungen aufzeigen oder zum „Staunen“ bringen), (c) der Einsatz des Smartphones z.B. zur Internetrecherche, (d) das Aktivieren der Schüler*innen bspw. durch Theaterpädagogik (vgl. Subkategorie 1.1), (e) eigenständiges Arbeiten der Schüler*innen (vgl. Subkategorie 1.5) sowie (f) „witzig[e]“ (Schmidt, SR2, 118) bzw. „unterhaltsame“ (Schmidt, SR2, 94) Filme. Diese Subkategorie wird sowohl auf allgemeiner Ebene im Einstiegsinterview als auch bei der Nachbesprechung von eingesetzten Materialien genannt, sodass davon ausgegangen werden kann, dass es sich um ein direkt handlungssteuerndes Kriterium handelt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die befragten Lehrkräfte an Materialien vor allem inhaltliche Kriterien für konkrete Maßnahmen für den Unterricht anlegen. Ein ähnliches Verhalten wurde auch in zahlreichen weiteren Studien festgestellt (vgl. Merzyn, 1994; Reinhold, 1997; Schneider & Krajcik, 2002; Starauschek, 2003; Tarr et al., 2006; Möller, 2010; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012; Vorndran et al., 2014; Davis et al., 2017). Es überwiegen die Kriterien *3.2.2 Passende Themenauswahl*, *3.2.5 Gutes Angebot an Aufgaben*, *3.2.9 Für Schüler*innen angemessene Anforderungen* sowie *3.2.13 Alltagsbezug/interessefördernd*. Insgesamt sind aber auch große individuelle Unterschiede zwischen den Lehrkräften auszumachen.

8.2.3.2. Formale bzw. pragmatische Materialnutzungskriterien

In Bezug auf formal-pragmatische Kriterien der Materialauswahl (Kategorie 3.3) werden mehrere Subkategorien vom Großteil der Stichprobe genannt (vgl. Abb. 8.16). Die Subkategorie *3.3.4 Digitale Medien* wird dabei mit Abstand am häufigsten angeführt (vgl. Abb. 8.17).

Die Subkategorie *3.3.1 Arbeitserleichterung/geringer Arbeitsaufwand* wird von zehn Personen (allen außer Schneider) angeführt und in Bezug auf die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit am zweithäufigsten genannt. Darin manifestiert sich das teilweise sehr pragmatische Verhalten der Lehrkräfte (vgl. Subkategorie 2.1.3):

- „*Es muss natürlich eh möglichst einfach zu handhaben sein, dass es nicht zu viel Zeit kostet, das den Schülern zu zeigen und der Output muss dann entsprechend dann stimmen*“ (Peters, I1, 102).

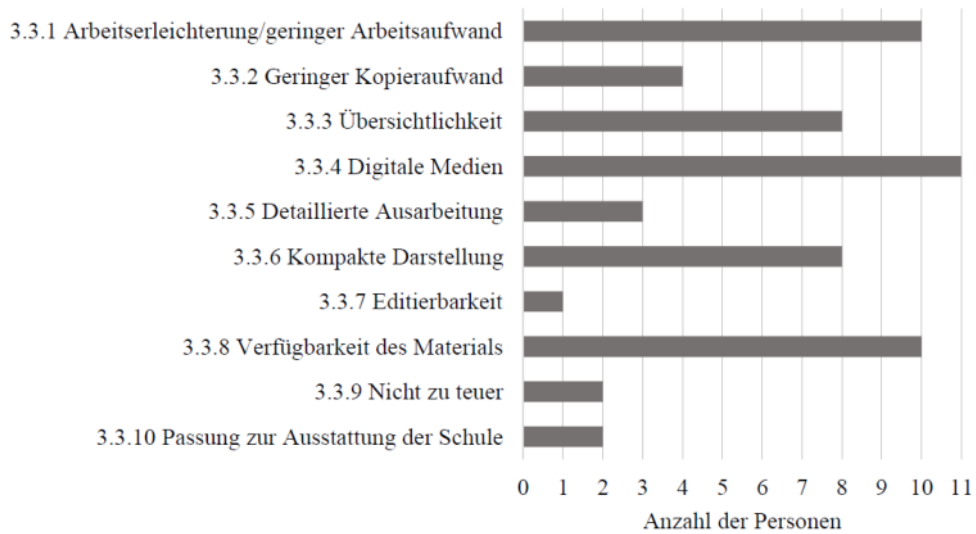


Abbildung 8.16.: Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen formal-pragmatischen Materialnutzungskriterium.

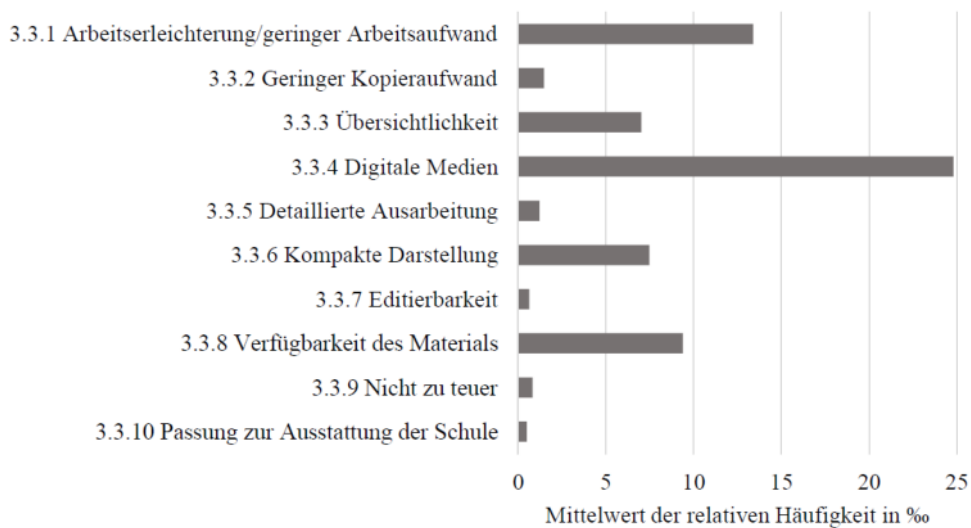


Abbildung 8.17.: Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings pro Person je formal-pragmatischem Materialnutzungskriterium.

- „Also da bin ich wirklich ganz pragmatisch hingegangen, *habe am Anfang einfach mal das im Buch durchgemacht*, weil eh, weil als ich das das erste Mal gemacht habe, wusste ich selber eigentlich gar nicht genau, was die da in welcher Reihenfolge machen. [...] Das heißt, da habe ich nicht groß geplant“ (Schmidt, I2, 30).
- „Also gut, wenn es gut verkauft ist ehm, ich bin durchaus mutig auch mal etwas Neues auszuprobieren. [...] Ehm, da wäre wirklich eher der Blick darauf ehm, wie viel Zeit. *Also es ist wirklich dann immer wieder die Zeitfrage*“ (Lücking, I1, 107f).
- „Also wähle ich das so ein bisschen danach aus, *wo ich am wenigsten Arbeit mit habe*, ne“ (Kampe, I1, 70).

Eine intensive Auseinandersetzung mit neuen Materialien wird oftmals von vorneherein ausgeschlossen, was für den Transfer fachdidaktischer Innovation als implementationshinderlich eingeschätzt werden kann.

Insgesamt wird diese Subkategorie sehr häufig gemeinsam mit der Subkategorie 3.2.5 *Gutes Angebot an Aufgaben* genannt, da anscheinend die Suche und Überarbeitung bzw. Erstellung von Aufgaben in der Unterrichtsplanung viel Zeit kosten kann und daher die Möglichkeit zur Zeitersparnis bietet. Da viele Lehrkräfte angegeben, nur wenig Zeit für die Unterrichtsplanung zur Verfügung zu haben (Subkategorie 2.2.10), könnte dieses pragmatische Materialnutzungskriterium eine Folge daraus sein. Die Lehrkraft (Lücking), die die größte relative Nennungshäufigkeit zu 2.2.10 *Kaum Zeit für die Unterrichtsplanung* aufweist, nennt jedenfalls auch am häufigsten die Subkategorie 3.3.1 *Arbeits erleichterung/geringer Arbeitsaufwand*. Vor diesem Hintergrund können weiterhin Verhaltensweisen wie das Beibehalten vertrauter Konzepte (Subkategorie 3.1.2) oder die Passung zum eigenen Vorgehen (Subkategorie 3.1.6) ein Stück weit begründet werden.

Die Subkategorie 3.3.2 *Geringer Kopieraufwand* wird von den Lehrkräften Kruse, Krüger, Lücking und Meyer angegeben. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit fällt gering aus. Das könnte bedeuten, dass dieses Materialnutzungskriterium eine eher geringe Relevanz darstellt – die Äußerungen der betreffenden Lehrkräfte deuten allerdings darauf hin, dass es sich um ein K.o.-Kriterium handelt:

„Da versuche ich auch *möglichst wenig Kopien zu erstellen*, weil ich glaube, die werden eh bombardiert mit Papier und Kopien. Also ich versuche, das schon dann einzuschränken und *mich wirklich auch auf das, was wir haben, nämlich das Buch, zu konzentrieren*“ (Kruse, I1, 82).

Tatsächlich wird diese Subkategorie häufig gemeinsam mit der Verwendung des Schulbuches (Subkategorie 3.4.1) genannt und auf dessen Verfügbarkeit

(Subkategorie 3.3.8) verwiesen. Darauf wird im weiteren Verlauf erneut eingegangen. Begründet wird dieses Materialnutzungskriterium entweder aus der Perspektive der Schüler*innen (es soll keine Lose-Blatt-Sammlung unterstützt werden) oder aus eigenem Interesse (Kopierkontigent, zusätzlicher Aufwand).

Die Subkategorie *3.3.3 Übersichtlichkeit* wird acht Lehrkräften (allen außer Schneider, Schmidt & Krüger) zugeordnet. Es liegt eine mittlere durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit vor. Die betroffenen Lehrkräfte listen dabei diverse Indikatoren für eine übersichtliche Gestaltung auf: eine „schlichte Aufmachung“ (Kurse, SR1, 7), „nicht zu viele Nebenschauplätze“ (Meyer, SR1, 113), Visualisierungen mittels Abbildungen, ein gezielter Farbeinsatz (z.B. für Abbildungen oder für die Hervorhebung von Arbeitsaufträgen) und die Strukturierung von Text (bspw. mittels Schriftschnitt). In Bezug auf die Auswahl von Abbildungen kann es sich durchaus um ein notwendiges Kriterium handeln, meistens scheint es jedoch eher eine hinreichende Bedingung darzustellen, die vor allem bei der Gestaltung eigener Materialien zum Tragen kommt.

Die Subkategorie *3.3.4 Digitale Medien* wird von allen elf Lehrkräften genannt und weist die mit Abstand höchste relative Nennungshäufigkeit im Vergleich zu den anderen Subkategorien auf. Dieser Subkategorie liegen u.a. die folgenden Motive zugrunde: Motivation der Schüler*innen (z.B. ihr Smartphone im Unterricht zu benutzen), Zeiteffizienz (z.B. müssen Schüler*innen keine lineare Regression per Hand durchführen), praktische Begründungen (z.B. Abspeichern von Tafelbildern, geringerer Kopieraufwand (Subkategorie 3.3.2), Abschneiden der Schüler*innen in einem Quiz) und Simulationen als Ersatz für Realexperimente. In Bezug auf den letzten Punkt wägen die jeweiligen Lehrkräfte ab, welchen Mehrwert eine Simulation darstellt – bspw. weil die dynamische Darstellung der Simulation von Vorteil ist (Ausbreitung von Wellen, Franck-Hertz-Versuch) oder die Schüler*innen viele Einstellungen selber vornehmen können (Franck-Hertz-Versuch):

„Warum entstehen die Schichten [beim Franck-Hertz-Versuch]? Und das kann ich mir in Ruhe in dem Bild angucken, also *da ist die Simulation tatsächlich viel stärker. Weil ich die Dynamik habe*, dass ich sehe, da werden die schneller, da werden die langsamer. *An der Stelle ist eine Simulation unschlagbar, weil ich Dinge sehe, die ich so nicht sehe*“ (Schmidt, SR2, 130).

Einige Lehrkräfte begründen den Einsatz digitaler Medien folglich auch inhaltlich (z.B. Erwerb digitaler Medienkompetenz, Interaktionsmöglichkeit bei Simulationen). Hierbei lässt sich ein Zusammenhang mit der Subkategorie *3.2.2 Passende Themenauswahl* beobachten, wenn die betreffenden Lehrkräfte diskutieren, zu welchem Inhaltsbereich der Einsatz digitaler Medien sinnstiftend ist. Einige Aussagen lassen allerdings auch auf einen wenig

reflektierten technisierten Gebrauch schließen (vgl. Subkategorie 1.6 *Experiment handlungsleitend*):

- „Na, ich wollte auf jeden Fall neue Medien einsetzen. Weil wir ja hier auch eine Medienschule sind. Dachte ich, okay, ich mache mal so eine Simulation mit rein“ (Krüger, SR1, 12).
- „Ja, ich wollte das einfach mal ausprobieren, ehm Video denen oder Unterrichtsmaterial [per Whatsapp] rüber zu schicken“ (Peters, SR2, 69).

Die betreffenden Lehrkräfte geben an, dass der Einsatz digitaler Medien von der technischen Ausstattung der Schule (Subkategorie 2.2.5) abhängt. Eine gute technische Ausstattung kann den Einsatz unterstützen (Meyer), eine mangelhafte Ausstattung kann hingegen zu einem eingeschränkten Einsatz führen (Schneider). Diese Subkategorie wird weiterhin oftmals in Zusammenhang mit Aufgaben (Subkategorie 3.2.5) genannt, da für die Bearbeitung von Simulationen in der Regel Arbeitsaufträge bereitgestellt werden.

Es fällt auf, dass die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit dieser Subkategorie für das Einstiegsinterview mit 34 % deutlich höher ausfällt als für die restlichen Interviews mit 19 %. Möglicherweise spielen digitale Medien in den ausgewählten videographierten Unterrichtsstunden zufälligerweise eine geringere Rolle als üblicherweise, womöglich liegt dieser Subkategorie aber auch nach Wahl (1991) eine subjektive Theorie mittlerer Reichweite zugrunde, welche in konkreten Situationen nur bedingt handlungsleitend ist. Nichtsdestotrotz ist zu erwarten, dass die teilnehmenden Lehrkräfte die in MILQ bereitgestellten Simulationen in Augenschein nehmen und als möglichen Ersatz von Realexperimenten verhandeln.

Der Subkategorie 3.3.5 *Detaillierte Ausarbeitung* können insgesamt nur vier Aussagen von drei Lehrkräften (Schmidt, Lenz & Leinert) zugeordnet werden – hierbei scheint es sich folglich nicht um ein relevantes Auswahlkriterium zu handeln. An dieser Stelle zeigt sich lediglich, welche individuellen Vorstellungen und Erwartungen verschiedene Lehrkräfte teilweise an materialgestützte Unterrichtskonzeptionen stellen. Denn statt einer detaillierten Ausarbeitung geben acht Lehrkräfte (alle außer Peters, Schneider & Jansen) an, sich eine kompakte Darstellung (Subkategorie 3.3.6) zu wünschen. Es handelt sich um die vierthäufigste genannte Subkategorie. Eine kompakte Darstellung wird häufig in Kombination mit der Subkategorie 3.3.3 *Übersichtlichkeit* genannt. Neben individuellen Unterschieden wird weiterhin deutlich, dass die Materialnutzung auch innerhalb einer Person variieren kann, da Schmidt, Lenz und Leinert sowohl 3.3.5 *Detaillierte Ausarbeitung* als auch 3.3.6 *Kompakte Darstellung* zugeordnet werden konnten. Auch Eisenmann und Even (2012) sowie Matic (2019) berichten, dass die Interaktion von Lehrkräften und materialgestützten Unterrichtskonzeptionen ein dynamisches Zusammenspiel darstellt, welches u.a. von den verfolgten Zielen und

der jeweiligen Schüler*innengruppe abhängt, und daher auch intrapersonell variiert (vgl. Abschnitt 3.3.3).

Die Editierbarkeit von Materialien (Subkategorie 3.3.7) wird nur von Lenz als Kriterium angegeben. Dieses Materialnutzungskriterium scheint daher im Großen und Ganzen keine Rolle zu spielen. Allerdings ist die relative Nennungshäufigkeit für Lenz mit 7% mittelhoch, sodass diese Lehrkraft darauf durchaus Wert zu legen scheint.

Weiterhin wird die Subkategorie *3.3.8 Verfügbarkeit des Materials* von zehn Personen (allen außer Lücking) als Materialnutzungskriterium angegeben. Es handelt sich um die am dritthäufigsten genannte Subkategorie, weshalb dieses Kriterium vermutlich einen hohen Stellenwert bei der Materialauswahl einnimmt. Es wird häufig direkt auf die Nutzung bestimmter Materialien wie das Schulbuch oder das Internet bezogen, worauf unter *3.4 Genutzte Materialien bei der Unterrichtsvorbereitung und im Unterricht* näher eingegangen wird. Die betreffenden Lehrkräfte verstehen unter Verfügbarkeit, dass Materialien leicht zugänglich und am besten direkt griffbereit sind:

„Oder was alles an *Schätzchen irgendwo in meinem großen Schrank* //I: Das kann ich mir vorstellen (lacht).// noch schlummert. *Ne, also wenn ich erst lange Begehungen meiner Bücherei da machen muss, um was zu finden.* Oder gute Zettel mal vom Kollegen habe ich sicherlich irgendwo abgeheftet, *aber wenn sie nicht griffbereit sind*“ (Lücking, I1, 110).

Begründet wird ein solches Vorgehen in der Regel mit einer Arbeitsentlastung (Subkategorie 3.3.1). Daher treten die Subkategorien *3.3.2 Geringer Kopieraufwand* und *3.3.8 Verfügbarkeit des Materials* auch häufig gemeinsam auf. Insbesondere in Bezug auf die Auswahl von Aufgaben (Subkategorie 3.2.5) wird meistens auf direkt verfügbare Materialien zurückgegriffen.

Private finanzielle Kosten (Subkategorie 3.3.9) werden lediglich von Krüger und Meyer als Ausschlusskriterium genannt. Meyer bezieht sich dabei bspw. auf das Anlegen von Accounts bei Internet-Plattformen für Lehrkräfte:

„Ich habe da keinen Account, also ich habe da *teilweise mal Probe-Accounts* mir gemacht und reingeguckt, aber dann – *kostet ja auch Geld.* Ehm. Und der Nutzen davon, die Arbeitsblätter sind auch so, dass sie nicht passen, die müsste ich überarbeiten. Da kann ich es selber machen“ (Meyer, I1, 101).

Weiterhin wird das Kopierbudget (Subkategorie 3.3.2) in diesem Zusammenhang von Meyer als Limitation aufgeführt.

Allerdings wird aus einer Äußerung von Krüger die Ambivalenz dieser Subkategorie deutlich:

„Ich sage mal so, jede Lieferung hat 20 Euro gekostet und in der Summe besteht das [Handreichung für Lehrkräfte] aus vier Ordnern, ich schätze mal so, na ja, das werden schon 2000 Seiten sein. Rechnen wir mal durch 20. *Also das war sauteuer. Und irgendwann habe ich das eingestellt*“ (Krüger, I2, 74).

Aus dieser Äußerung wird deutlich, dass Krüger bis zu einem gewissen Grad durchaus bereit ist, Geld in die Anschaffung von materialgestützten Unterrichtskonzeptionen zu investieren. Da sich die verbleibenden acht Lehrkräfte zu diesem Punkt nicht äußern, bleibt unklar, welche Ansicht sie diesbezüglich vertreten. Eine repräsentative Untersuchung von Neumann (2015) liefert Hinweise dafür, dass (vor allem private) Anschaffungskosten eine große Relevanz für Lehrkräfte haben. Die fehlenden Äußerungen in der vorliegenden Studie diesbezüglich könnten bedeuten, dass dies auf die teilnehmenden Lehrkräfte dieser Studie in dem Ausmaß nicht zutrifft oder aber dass so automatisiert auf frei bzw. kostengünstig verfügbare Materialien zurückgegriffen wird, dass sie dies nicht als Auswahlkriterium explizieren.

Der Subkategorie *3.3.10 Passung zur Ausstattung der Schule* werden die beiden Lehrkräfte Lücking und Meyer zugeordnet. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit ist relativ gering. Da es sich um ein recht spezifisches Materialnutzungskriterium handelt, was sich direkt auf den Einsatz von Experimenten bezieht, ist zu vermuten, dass die geringe Nennung ein Indiz für eine geringe Relevanz dieses Kriteriums ist.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass aus pragmatischer Sicht die zentralen Materialauswahlkriterien für die befragten Lehrkräfte die Bereitstellung digitaler Medienangebote, ein geringer Arbeitsaufwand und die Verfügbarkeit der Materialien darstellen. Eine kompakte und übersichtliche Darstellung wird ebenfalls begrüßt. Allerdings scheinen auch einige der seltener genannten Subkategorien als notwendig erachtete Kriterien darzustellen, wie bspw. ein geringer Kopieraufwand und vermutlich nicht zu hohe finanzielle Anschaffungskosten. Auch bei den formalen bzw. pragmatischen Materialnutzungskriterien sind große individuelle Unterschiede zu sehen. In Bezug auf die Implementierung von MILQ bedeutet dies, dass neben inhaltlichen Materialnutzungskriterien formale bzw. pragmatische Kriterien ebenfalls eine entscheidende Rolle bei der Auswahl von Materialien spielen können – und daher möglicherweise die hohe Qualität von MILQ weniger handlungsleitend sein wird.

8.2.3.3. Genutzte Materialien zur Unterrichtsvorbereitung oder im Unterricht

Die befragten Lehrkräfte greifen auf viele unterschiedliche Materialien in der Unterrichtsvorbereitung oder im Unterricht (Kategorie 3.4) zurück (vgl. Abb. 8.18). Im Schnitt gibt eine Person sieben verschiedene Materialien an.

Kampe führt mit fünf am wenigsten an, wohingegen Krüger mit neun am meisten Materialien nennt. Die unerfahrenen Lehrkräfte (Kampe fünf und Meyer sechs) geben dabei eher weniger Materialien als die erfahrenen Lehrkräfte an. Dabei handelt es sich allerdings nicht unbedingt um einen bedeutsamen Zusammenhang. In jedem Fall kann ausgeschlossen werden, dass – wie man hätte erwarten können (vgl. Breuer, Vogelsang & Reinhold, 2018b) – die unerfahrenen Lehrkräfte auf besonders viele Materialien zurückgreifen und die erfahreneren Lehrkräfte primär mit der eigenen Materialsammlung arbeiten. Aus der durchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeit wird darüber hinaus deutlich, dass jedoch nur bestimmte Materialien in der alltäglichen Unterrichtsvorbereitung regelmäßig genutzt werden (vgl. Abb. 8.19). Dabei handelt es sich um Schulbücher, die eigene Materialsammlung und das Internet.

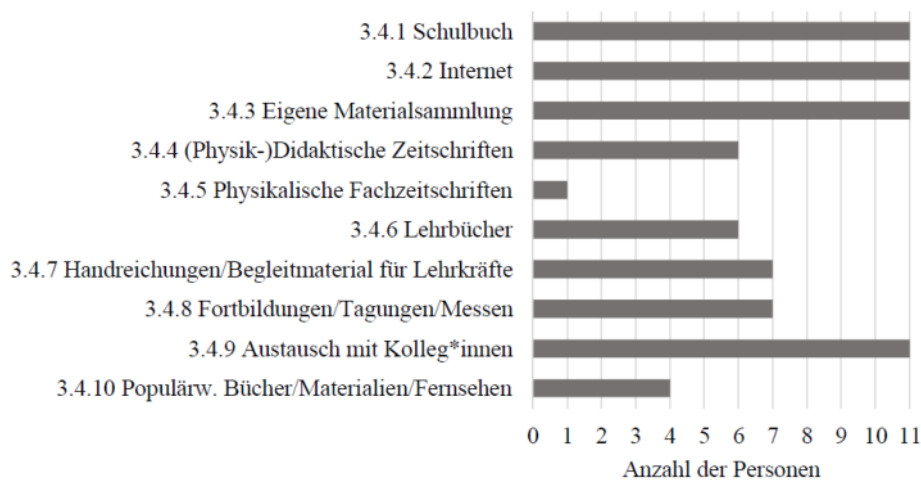


Abbildung 8.18.: Anzahl der Personen je genutztem Material.

Das Schulbuch (Subkategorie 3.4.1) wird von allen Lehrkräften genutzt. Es weist die zweithöchste durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit auf, weshalb davon ausgegangen werden kann, dass es von den befragten Lehrkräften viel frequentiert wird. Es scheint häufiger in der Unterrichtsvorbereitung als im Unterricht genutzt zu werden (vgl. Merzy, 1994; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012), denn es wurde nur in vier der 20 videographierten Unterrichtsstunden bei den Lehrkräften Schmidt, Lücking, Kampe und Meyer der Einsatz eines Schulbuches im Unterricht beobachtet. Dabei wurden zudem in drei der vier Unterrichtsstunden lediglich Abbildungen bzw. kurze Textpassagen aus dem Schulbuch eingescannt und am Beamer gezeigt. Nur bei Meyer arbeiteten die Schüler*innen selber mit dem Schulbuch. Insgesamt werden in den Stimulated-Recall-Interviews und im Abschlussinterview weniger Aussagen zum Schulbuch (24 %) als im Einstieginterview (32 %) gemacht. Das deutet darauf hin, dass das Schulbuch eher zur Reihenplanung als zur Vor-

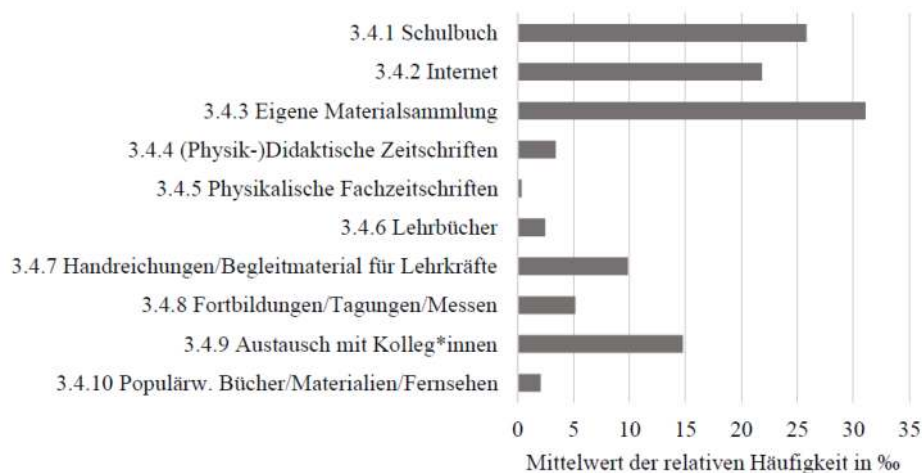


Abbildung 8.19.: Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings pro Person je genutztem Material.

bereitung einzelner Unterrichtsstunden hinzugezogen wird. Insgesamt geben aber sieben Lehrkräfte (Peters, Kruse, Schmidt, Lenz, Schneider, Lücking & Meyer) an, das Schulbuch regelmäßig im Unterricht zu verwenden.

Diese Unterschiede in der Schulbuchnutzung treten auch in Bezug auf die Umsetzungstreue auf. Krüger, Schmidt und Lücking geben an, sich eng an einem Schulbuch zu orientieren, was oftmals durch ein pragmatisches Verhalten (Subkategorie 2.1.3) gesteuert wird. Schmidt fällt diesbezüglich mit einer sehr intensiven Schulbuchanalyse auf:

„Und ehm, dann bin ich hingegangen und habe dort gesagt, *ich nehme mir dieses Buch und gehe Seite für Seite durch und bringe die Seiten in eine vernünftige Reihenfolge*. So. Und habe das dann wieder gemacht, da ist eine Tabelle daraus geworden, wo dann drin steht, so, wir fangen an Seite 15 bis Seite 21, dann machen wir Seite 35 bis 41, dann machen wir Seite 17 bis 17 oder was weiß ich was. Und diese Tabelle haben die Kollegen, die Tabelle haben die Schüler. *Und da wissen sie, dieses Buch können wir nehmen, wir müssen nur //I: Nur, mh (bejahend).// eine andere Reihenfolge nehmen, um es zu lesen*. Und dann haben wir das alles wieder in der Reihenfolge, wie es vorher auch, in dem Leitungskursbuch war und dann ist die Welt in Ordnung und man kann da vernünftig mit arbeiten“ (Schmidt, II, 166).

Auch Lenz hält sich in weiten Teilen an das Schulbuch, was ihren Angaben zufolge allerdings der Tatsache geschuldet ist, dass sie kurzfristig den Leistungskurs übernehmen musste und daher keine Zeit für eine Reihenplanung war. Im Gegensatz dazu ziehen Schneider, Leinert, Kruse und Kampe in der Regel mehrere Schulbücher zurate (vgl. Tebrügge, 2001). Peters und Jansen orientieren sich wiederum kaum an Schulbüchern. Aus Meyers Aussagen kann nicht abgeleitet werden, wie eng er sich an ein Schulbuch hält.

Aus den folgenden Aussagen lässt sich vermuten, dass die Schulbuchnutzung eng mit den Vorstellungen zur Materialnutzung (Kategorie 3.1) zusammenhängt:

- „Weil ich einfach finde, ehm die [Schüler*innen] haben in dem Schulbuch noch einmal einen anderen Zugang. Und man wird schnell verleitet, wenn man nach dem Schulbuch vorgeht, dass man es genauso macht wie das Schulbuch. //I: Ja, klar.// So. *Und wenn ich es jetzt genauso mache wie das Schulbuch, warum haben wir denn dann das Schulbuch? Ne, ich finde, die Schüler brauchen unterschiedliche Zugänge.* So, wenn ich das auf meine Art und Weise mache und Schüler das interessiert, hat er die Chance, noch einmal in einem Schulbuch einen anderen Zugang [nachzulesen]“ (Janssen, SR1, 35).
- „Und ich bin eh, als ich hier angefangen habe, habe ich von Mathe auch nicht, *von Schulmathematik nicht viel Ahnung gehabt, weil ich ja Seiteneinsteiger war.* Das Physik war kein Problem, aber die Schulmathematik, da habe ich mir ein Buch genommen und habe mir das Kapitel angeschaut. //I: Ja, natürlich. Und dann macht man es erst einmal so, wie es im Buch steht.// *Und dann habe ich das kapitelweise gemacht, ne? Von vorne nach hinten durch. Und das hat prima funktioniert. Und das ging in Physik auch*“ (Schmidt, I2, 18).

Weiterhin scheint die Verfügbarkeit des Schulbuches einen häufigen Einsatz zu begünstigen (vgl. Bauer, 1995). Mehrere Lehrkräfte geben an, durch den Einsatz des Schulbuches im Unterricht weniger Kopien erstellen zu müssen (Subkategorie 3.3.2) sowie schnell und effizient zu sein (Subkategorie 2.1.3 & 2.2.9) (vgl. Bauer, 1995). Schneiders Schüler*innen haben hingegen kein eigenes Schulbuch, weshalb sie angibt, den Schüler*innen viel Zusatzmaterial an die Hand zu geben.

In der Auseinandersetzung mit Schulbüchern wird häufig ein angemessenes Anforderungsniveau (Subkategorie 3.2.9) als Auswahlkriterium angeführt – wobei nicht alle Schulbücher diesbezüglich als adäquat eingestuft werden. Zudem werden Schulbücher von Kruse, Lücking und Kampe als „passgenau“ (Kampe, I1, 66) zum Lehrplan bezeichnet. Dieses Argument ist eigentlich häufiger zu erwarten, da die ministerielle Zulassung von Schulbüchern und die daraus resultierende Legitimation den entscheidenden Vorteil im Vergleich zu anderen materialgestützten Unterrichtskonzeptionen bildet (vgl. Bauer, 1995). Eine mögliche Deutung des Befundes ist, dass diese Legitimationsfunktion des Schulbuches von den Probanden als selbstverständlich hingenommen und daher nicht explizit benannt wird.

Weiterhin wird die Abfolge von Themen (Subkategorie 2.2.4 & 3.2.2) zwar häufig kritisch hinterfragt, zeigt jedoch, dass die betreffenden Lehrkräfte sich mit der Reihenfolge im Schulbuch auseinandersetzen und sich zumindest in Teilen daran orientieren. Weiterhin werden Schulbücher viel für Aufgaben

(Subkategorie 3.2.5), Anwendungsbeispiele/Kontexte (Subkategorie 3.2.13), Bilder (z.B. von Versuchsaufbauten) und für die eigene Vorbereitung (Subkategorie 3.5.1 & 3.5.2) genutzt (vgl. Merzyn, 1994; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Schulbücher für die befragten Lehrkräfte eine häufig verwendete Ressource darstellen und insbesondere in der Unterrichtsvorbereitung viel genutzt werden. Dabei scheinen die Verfügbarkeit, der hohe Anteil an Aufgaben und ein angemessenes Niveau für Schüler*innen die Hauptargumente für eine Verwendung des Schulbuches zu sein. Es ist auffällig, dass die befragten Lehrkräfte häufig sehr pauschal über Schulbücher urteilen (bspw. ob ein Schulbuch gute Aufgaben enthält oder nicht). Insgesamt fällt die Rezeption von Schulbüchern allerdings sehr unterschiedlich aus, was im Folgenden am Beispiel des Metzlers (Grehn, 2014) (weil dieser viel von den befragten Lehrkräften erwähnt wird) vorgeführt wird. Krüger und Kruse finden den Metzler gut geeignet für die Schüler*innen, wohingegen Schneider, Schmidt und Lenz ihn für Schüler*innen als ungeeignet einschätzen („Katastrophal“, Lenz, I1, 83). Meyer und Schmidt nutzen ihn allerdings zumindest für die eigene Vorbereitung und finden ihn dazu gut geeignet.

Das Internet (Subkategorie 3.4.2) wird ebenfalls von allen elf Lehrkräften als Quelle konsultiert. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit fällt vergleichbar hoch wie die des Schulbuches aus. Somit nimmt das Internet bei den genutzten Materialien einen wichtigen Platz ein (vgl. Härtig, Kauertz & Fischer, 2012; Breuer, Vogelsang & Reinhold, 2018b). Das ist allerdings u.a. der Tatsache geschuldet, dass diese Subkategorie eine Sammelkategorie für verschiedene Internetquellen wie etwa Wikipedia, LEIFiPhysik, Bildungsserver oder Foren für Lehrkräfte wie *4teachers* darstellt.

Die befragten Lehrkräfte greifen sowohl zur Suche nach Anregungen oder für eine gezielte Recherche auf das Internet zurück. Dabei stellt das Internet typischerweise nicht die erste Anlaufstelle der Lehrkräfte dar, sondern wird als Ergänzung oder Alternative zum Schulbuch verwendet. Seltener dient das Internet der eigenen Weiterbildung wie z.B. der fachlichen Vorbereitung (vgl. Kategorie 3.5). Genutzt werden Aufgaben (Subkategorie 3.2.5), Simulationen bzw. Animationen, Abbildungen, Filme bzw. Erklärvideos und Texte für die Schüler*innen. Dementsprechend wird die Nutzung des Internets auch oft in Verbindung mit der Subkategorie *3.3.4 Digitale Medien* genannt. Darüber hinaus nennen die befragten Lehrkräfte praktische Gründe für die Nutzung des Internets (bspw. Simulationen als Ersatz für Realexperimenten), die einfache Zugänglichkeit (Subkategorie 3.3.8), die große Auswahl, aber auch inhaltliche Gründe wie die Aktualität (Subkategorie 3.2.8), die Zuverlässigkeit (in Bezug auf Wikipedia, vgl. Subkategorie 3.2.6) und die Abiturrelevanz (in Bezug auf LEIFiPhysik, vgl. Subkategorie 3.2.3).

Eine typische Such- und Umsetzungsstrategie scheint dabei die folgende zu sein:

„Ich hätte lieber kleinteiligere Sachen, so wie es eben bei LEIFIphysik ist: So das ist, sind jetzt alle unsere Materialien zu dem Thema auf einem Haufen und *ich suche mir dann die Sachen raus, die ich brauche.* //I: Mh (bestätigend). Was sozusagen passt, ja.// Als *kleine Häppchen* und suche mir das zusammen“ (Lenz, I1, 100).

Hierbei manifestiert sich anscheinend die Vorstellung zur Materialnutzung *3.1.5 Baukasten-Prinzip*.

Der Nutzung des Internets im Unterricht scheint hingegen weniger praktiziert zu werden. Diesbezüglich kritisieren einige Lehrkräfte die technische Ausstattung der Schule für den Einsatz digitaler Medien wie ein stabiles WLAN (Subkategorie 2.2.5).

Die eigene Materialsammlung (Subkategorie 3.4.3) wird ebenfalls von allen elf Lehrkräften als Quelle angegeben und von allen genutzten Materialien am häufigsten genannt. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit ist insbesondere für die *stimulated recalls* und das Abschlussinterview mit 35 % sehr hoch. Für das Einstiegsinterview liegt sie bei 23 %. Dementsprechend scheint die eigene Materialsammlung besonders für konkrete Unterrichtsstunden, meist in der Form von Arbeitsblättern, eine entscheidende Ressource zu sein (vgl. Bromme, 1981; Haas, 1998; Tebrügge, 2001; Breuer, Vogelsang & Reinhold, 2018b). Es ist zu vermuten, dass sich in der hohen Relevanz der eigenen Materialsammlung Vorstellungen zur Materialnutzung wie *3.1.3 Anpassungen nötig* und *3.1.6 Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen bzw. Stil* äußern: „Die Entscheidungen sind eigentlich schon vor Jahren getroffen. //I: Genau, Sie haben mir ja hier auch schon-// Genau, das Skript liegt da“ (Peters, SR1, 8).

Die eigene Materialsammlung wird allerdings sehr unterschiedlich eingesetzt. Viele Lehrkräfte geben an, einen „Grundstock an Aufgaben“ (Lenz, SR1, 13) zu haben (Subkategorie 3.2.5), andere greifen eher auf Abbildungen wie Versuchsaufbauten oder Versuchsbeobachtungen zurück. Auch Tafelbilder oder *advanced organizer* (bspw. eine Mind Map, die behandelte Themen miteinander vernetzt) stellen für einige Lehrkräfte einen Teil der eigenen Materialsammlung dar. Weiterhin werden Versuchsanleitungen oder Texte für Schüler*innen als Bestandteile der eigenen Materialsammlung genannt. Darüber hinaus geben auch einige Lehrkräfte an, den Stundenablauf zu notieren und in nachfolgenden Jahrgängen darauf zurückzugreifen. Drei Lehrkräfte besitzen überdies für bestimmte Themenbereiche ein ausgearbeitetes Skript (Peters, Schmidt & Kampe). Kampe gibt allerdings an, je nach Schülergruppe viele Anpassungen daran vornehmen zu müssen. Schmidt und

insbesondere Peters scheinen sich hingegen sehr eng an ihrem Skript zu orientieren (vgl. Unterkapitel 8.3).

Andere sprechen auch über ihr „Konzept“ (Kruse, I1, 6) oder darüber, dass sie etwas „im Kopf“ (Janssen, I1, 112) haben, wobei sich anhand des Datenmaterials nicht abschließend klären lässt, was die jeweiligen Lehrkräfte damit konkret meinen. Vermutlich beziehen sie sich auf eine globale Ebene wie die Reihenplanung oder die Herangehensweise an ein Thema.

Insgesamt setzt sich die eigene Materialsammlung folglich aus diversen Materialien zusammen, die in der Regel für den Einsatz im Unterricht gedacht sind oder sich auf den Stunden- oder Reihenverlauf beziehen. Die Materialien stammen oft von Kolleg*innen (vgl. Subkategorie 3.4.9) oder wurden aus verschiedenen Quellen übernommen und zusammengestellt bzw. überarbeitet, teilweise aber auch selbst erstellt. Die eigene Materialsammlung wird häufig ergänzend im Unterricht verwendet – nur in seltenen Fällen stellt sie die Ausgangsbasis der Unterrichtsplanung (ausgearbeitetes Skript) dar.

Die Subkategorie 3.4.4 (*Physik-*)*Didaktische Zeitschriften* wird von sechs Lehrkräften (Kruse, Lenz, Schneider, Leinert, Krüger & Janssen) als weitere Materialquelle angegeben. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit fällt eher gering aus, woraus sich schließen lässt, dass (fach)didaktische Zeitschriften eine wohl nur marginale Rolle für den alltäglichen Unterricht spielen (vgl. Härtig, Kauertz & Fischer, 2012). Die betreffenden Lehrkräfte berichten, solche Zeitschriften in der Regel aus Interesse und weniger für eine gezielte Suche zu lesen (vgl. Subkategorie 2.2.1 *Didaktische Innovationsbereitschaft* & 3.5.1 *Anregung/Interesse*): „Das muss mir zufällig über den Tisch flattern. Das mache ich nicht aktiv“ (Krüger, I1, 119). Es werden aber durchaus konkrete Ideen wie Arbeitsaufträge für Gruppenarbeitsphasen im Unterricht umgesetzt.

Die Lektüre von physikalischen Fachzeitschriften (Subkategorie 3.4.5) wird nur von Leinert angegeben. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit fällt somit sehr gering aus. Es überrascht nicht, dass Fachzeitschriften in der alltäglichen Unterrichtsvorbereitung keine Rolle spielen, da sie augenscheinlich keine Unterrichtsvorschläge liefern (vgl. Härtig, Kauertz & Fischer, 2012). Allerdings werden die teilnehmenden Lehrkräfte im Einstiegsgespräch explizit nach genutzten Materialien gefragt, um selber etwas Neues dazuzulernen. Vor diesem Hintergrund ist es durchaus bezeichnend, dass diese Subkategorie nur von einer Person genannt wird.

Die Nutzung von Lehrbüchern (Subkategorie 3.4.6) wird von sechs Lehrkräften (Peters, Kruse, Schmidt, Krüger, Kampe & Meyer) berichtet. Die Nennungshäufigkeit ist niedrig. Als Grund wird in erster Linie die eigene fachliche Vorbereitung (vgl. Subkategorie 3.5.2) genannt. Nach Angaben der

Lehrkräfte werden Lehrbücher jedoch in der alltäglichen Unterrichtsvorbereitung kaum zurate gezogen:

„Ich habe auch noch einen Tipler im Schrank stehen, aber den habe ich auch (unverständlich). //I: Wahrscheinlich selten dann herausgeholt.// Also wenn ich ihn verwende, dann dazu, irgendwelche *Bücher auf dem Scanner zu beschweren*, dass das ordentlich draufkommt. *Aber sonst habe ich tatsächlich schon Jahre nicht mehr in den Tipler reingeguckt*“ (Meyer, II, 101).

Handreichungen und Begleitmaterialien für Lehrkräfte (Subkategorie 3.4.7) werden von sieben Lehrkräften (Kruse, Schneider, Leinert, Krüger, Janssen, Lücking & Meyer) genutzt. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit fällt mit 10 ‰ mittelhoch aus. Im Vergleich zu den Subkategorien *3.4.1 Schulbuch*, *3.4.2 Internet* und *3.4.3 Eigene Materialsammlung* scheint diese Materialquelle zwar eine eher untergeordnete Rolle zu spielen (vgl. Härtig, Kauertz & Fischer, 2012), aber nichtsdestotrotz regelmäßig konsultiert zu werden. Handreichungen und Begleitmaterialien werden überwiegend für Aufgaben (und Musterlösungen) bzw. als Vorlage für Arbeitsblätter (insbesondere alte Abituraufgaben) zurate gezogen (Subkategorie 3.2.5). Es werden aber auch Anregungen für Alltagsanwendungen, Versuche oder Versuchsanleitungen bzw. Hinweise zu den 25 Schlüsselexperimenten in NRW genutzt. Manche Lehrkräfte geben darüber hinaus an, Handreichungen für didaktische Anregungen (Subkategorie 3.2.12) zu verwenden – hierbei handelt es sich jedoch lediglich um einige wenige Aussagen.

Der Besuch von Fortbildungen, Tagungen oder Messen (Subkategorie 3.4.8) wird von sieben Lehrkräften (Peters, Kruse, Schmidt, Schneider, Leinert, Krüger & Lücking) erwähnt. Da solche Professionalisierungsmaßnahmen typischerweise nicht den Berufsalltag prägen, sondern Zusatzveranstaltungen darstellen, ist es nachvollziehbar, dass sie seltener als Schulbücher oder die eigene Materialsammlung als Ressource angegeben werden. Vor dem Hintergrund der expliziten Nachfrage nach Weiterbildungsmaßnahmen im Einstiegsinterview ist es jedoch bezeichnend, dass vier Lehrkräfte (also gut ein Drittel der Stichprobe) den Besuch von Fortbildungsprogrammen nicht erwähnen.

Aufgezählt werden vor allem Fortbildungen zu (fach)didaktischen Inhalten wie Kontextorientierung oder selbstorganisiertem Lernen. Seltener werden fachliche Fortbildungen genannt, wenn, bezieht es sich auf neue Themen im Kerncurriculum (Elementarteilchen). Darüber hinaus werden Fortbildungen zur Lehrplanänderung in NRW angegeben. Der Besuch von Messen ist hingegen primär durch das Kennenlernen von Neuerscheinungen motiviert. Insgesamt liegt der Teilnahme an solchen Professionalisierungsmaßnahmen eine neugierige Grundhaltung sowie das Bestreben nach eigener Weiterbil-

dung und weniger ein konkreter Bedarf zugrunde (vgl. Subkategorie 2.1.1 *Didaktische Innovationsbereitschaft*).

Weiterhin berichten alle teilnehmenden Lehrkräfte, sich gemeinsam mit Kolleg*innen über Gestaltungsvorschläge von Unterricht auszutauschen (Subkategorie 3.4.9). In Bezug auf die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit wird diese Subkategorie am vierthäufigsten angegeben. Der Austausch mit Kolleg*innen kann organisiert (bspw. über eine Medienplattform oder die Fachkonferenz) oder zwischen „Tür und Angel“ stattfinden. Insbesondere die eigene Materialsammlung scheint oftmals auf der Basis von Materialien von Kolleg*innen entstanden zu sein – viele Lehrkräfte geben an, Materialien von einem Mentor bzw. einer Mentorin in der Ausbildung oder zu Berufsbeginn zur Verfügung gestellt bekommen zu haben. Mehrere Lehrkräfte berichten darüber hinaus, Anregungen von Referendar*innen, die im eigenen Unterricht unterrichten, zu bekommen.

Nichtsdestotrotz fühlen sich viele der befragten Lehrkräfte als „Einzelkämpfer“ (Lenz, SR1, 7) und formulieren den Wunsch nach mehr Austausch bzw. Zusammenarbeit im Kollegium. Eine Ausnahme bildet hierbei der Fachleiter Janssen, der über Kooperationen mit Universitäten, anderen Fachleiter*innen und Referendar*innen einen regen Austausch auf unterschiedlichen Ebenen erlebt und schätzt: „Und das ist auch wirklich das Schöne als Fachleiter, dass man viele unterschiedliche Dinge sieht und man brät nicht in seinem eigenen Saft“ (Janssen, I1, 116). Insgesamt scheint der Austausch unter Kolleg*innen eher weniger in der alltäglichen Unterrichtsvorbereitung verankert zu sein, sondern als zusätzliche Gelegenheit für Anregungen wahrgenommen zu werden (vgl. Subkategorie 2.1.1 *Didaktische Innovationsbereitschaft*). Vermutlich liegt deshalb die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit im Einstiegsinterview mit 23 % über 10 Promille-Punkte über der Nennungshäufigkeit in den restlichen Interviews.

Weiterhin nennen vier Lehrkräfte (Schmidt, Lenz, Schneider & Krüger) populärwissenschaftliche Materialien (Subkategorie 3.4.10) als weitere Quellen. Es handelt sich entweder um Materialien für den Einsatz im Unterricht (typischerweise Filme) oder um Materialien, mit denen sich die jeweiligen Lehrkräfte aus eigenem Erkenntnisinteresse beschäftigen und den Schüler*innen vielleicht „so Anekdotchen am Rande“ (Krüger, I1, 117) daraus erzählen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass anhand der Nutzung verschiedener Materialien komplexe und vielschichtige Prozesse beobachtet werden können. Es werden sehr unterschiedliche Herangehensweise verschiedener Lehrkräfte deutlich. Vor allem die eigene Materialsammlung und das Schulbuch stellen die zentralen Materialien für die Unterrichtsvorbereitung dar, das Internet wird häufig zur Ergänzung einzelner Aufgaben oder Abbildungen sowie für den Einsatz von Simulationen hinzugezogen. Dabei wird im-

mer wieder Bezug zu den Abiturvorgaben genommen. Andere Materialien scheinen eine eher untergeordnete Rolle im Berufsalltag zu spielen. Gerade Materialien mit Weiterbildungspotential werden selten zielgerichtet und systematisch verwendet, was sich möglicherweise hemmend auf die Implementierung von MILQ auswirken könnte. Insgesamt zeigt sich allerdings ein Bedarf an Materialien zur Quantenphysik, was wiederum implementationsförderlich sein könnte: „Aber zur Quantenphysik gibt es eben doch noch relativ wenig eigentlich“ (Kruse, I1, 236).

8.2.3.4. Gründe für das Selbststudium

Unter 3.5 Gründe für das Selbststudium überwiegt sowohl bezüglich der Personenanzahl (vgl. Abb. 8.20) als auch bezüglich der durchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeit (vgl. Abb. 8.21) deutlich die Subkategorie 3.5.1 *Anregung/Interesse*. Der Fokus aller Aussagen zu dieser Subkategorie liegt auf der Aktivität der Lehrkraft und nicht auf der Aktivität der Schüler*innen – die Subkategorie ist also nicht im Sinne einer fachlichen Klärung nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al., 1997) zu verstehen.

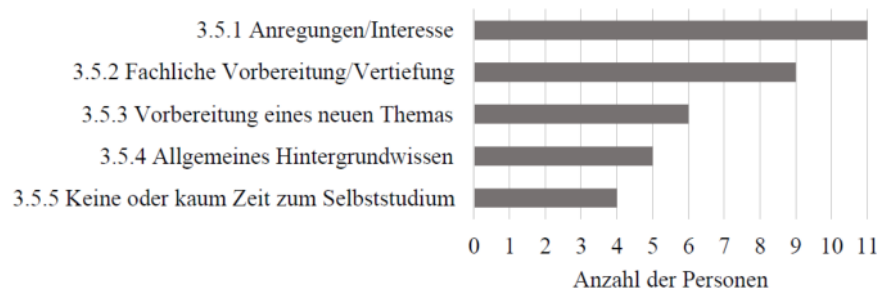


Abbildung 8.20.: Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen Grund für das Selbststudium.

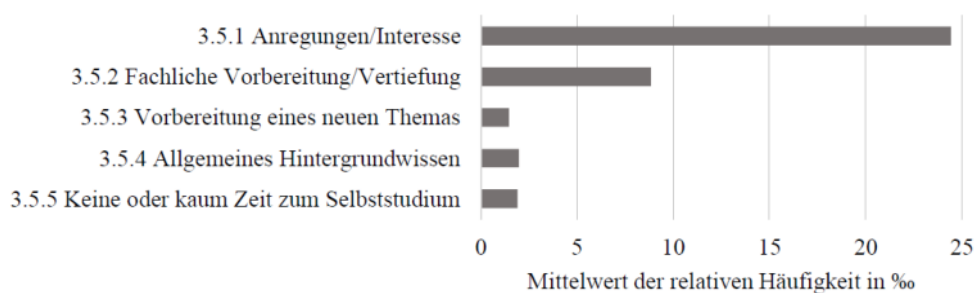


Abbildung 8.21.: Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings pro Person je genanntem Grund für das Selbststudium.

Aus den Äußerungen zu dieser Subkategorie lässt sich ein sehr unterschiedliches Materialnutzungsverhalten für verschiedene Personen ableiten. Einige Lehrkräfte agieren eher pragmatisch und recherchieren nach eigenen Angaben gezielt und systematisch (vgl. Subkategorie 2.1.3):

„Der *Leidensdruck* kommt erst dann, wenn etwas nicht funktioniert. [...] Das heißt also, ich habe ganz viele Baustellen und immer dort, [...] *wo es anfängt zu brennen, da wird dran gearbeitet. Das heißt, wenn irgendeine Unterrichtsreihe funktioniert, dann habe ich erstmal überhaupt nicht den Leidensdruck, mich nach etwas Anderem umzusehen*“ (Schmidt, I1, 208).

Demgegenüber steht eine grundsätzlich neugierige, offene Auseinandersetzung mit neuen Materialien, die nicht notwendigerweise gezielt und systematisch vonstatten geht (vgl. Subkategorie 2.1.1):

- „Die Schulbücher haben große Schwächen. In weiten Teilen, die wir so haben. *Und deswegen bin ich an Unterrichtsmaterial immer interessiert.* //I: Ja, das verstehe ich.// Und ich stecke für mich auch da sehr viel Zeit rein und ehm, bin dementsprechend auch interessiert, was andere so haben“ (Lenz, SR1, 7).
- „Und ja (seufzt), *lese immer wieder gerne* und lerne immer wieder Neues dazu“ (Kruse, I1, 196).

Letzteres wird von den jeweiligen Lehrkräften häufig mit eigenem Interesse und dem Wunsch nach Abwechslung begründet („Also ehm ich muss für mich das Gefühl haben, das finde ich jetzt interessant“, Kruse, I1, 88). Eine Verbesserung der eigenen Unterrichtspraxis oder des Lernangebots für die Schüler*innen wird hingegen kaum explizit geäußert. Dieses Motiv könnte implizit dem Vorgehen der betreffenden Lehrkräfte zugrundeliegen, vermutlich ist aber die intrinsische Motivation der Lehrkräfte für die Auseinandersetzung mit Neuem handlungsleitend (vgl. Rochnia & Trempler, 2019). Dementsprechend spiegelt sich bei diesen unterschiedlichen Vorgehensweisen zu einem gewissen Grad die Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit fachdidaktischen Innovationen wider (vgl. Gregoire, 2003).

Neben diesen unterschiedlichen Motivlagen zeigen sich Unterschiede im Nutzungsverhalten auch bei der Suche nach Materialien. Gesucht werden entweder konkrete Maßnahmen für den Einsatz im Unterricht oder aktuelle Forschungsbeiträge o.Ä. für die eigene Wissensaneignung – hier ist ein kontinuierlicher Übergang zur Subkategorie 3.5.4 *Allgemeines Hintergrundwissen* zu verzeichnen. Die Subkategorie 3.5.1 *Anregung/Interesse* wird daher viel in Zusammenhang mit der Nutzung von 3.4.4 *(Physik-)Didaktische Zeitschriften*, 3.4.7 *Handreichungen/Begleitmaterial von Lehrkräften* und 3.4.9 *Austausch mit Kolleg*innen* geäußert.

Die Subkategorie *3.5.2 Fachliche Vorbereitung/Vertiefung* wird von insgesamt neun Lehrkräften (allen außer Schneider & Krüger) als zweithäufigster Grund für ein Selbststudium angegeben. Hier kann zwischen Aussagen zur allgemeinen fachlichen Vorbereitung – teilweise aufgrund niedriger Selbstwirksamkeitserwartungen (vgl. Subkategorie 5.1) – und zum gezielten Nachschlagen oder Aktivieren von Vorwissen (z.B. in Bezug auf die Schrödinger-Gleichung oder das Zeigermodell bzw. für sehr spezifische Schüler*innennachfragen) unterschieden werden. Letzteres müssen die Lehrkräfte nach ihren Angaben aber im Alltag eher selten tun und es beschränkt sich in der Regel auf die Oberstufe (oder sogar auf den Leistungskurs) oder auf ein neues Thema (vgl. Subkategorie 3.5.3):

„Also im Grundkurs, muss ich zugeben, schaue ich jetzt relativ selten in Fachbücher, um mich da vorzubereiten (unv.) //I: Ja, vor allem, wenn Sie jetzt auch drin sind, ne?// Genau. Ich bin jetzt schon relativ intensiv in der Thematik drin. Als ich meinen ersten Leistungskurs hatte, habe ich natürlich sehr, sehr oft noch einmal für die Details in Fachbücher geguckt“ (Kampe, I1, 76).

Für die fachliche Vorbereitung werden oftmals Lehrbücher (Subkategorie 3.4.6) oder der Metzler (Subkategorie 3.4.1) genutzt.

Unter *3.5.3 Vorbereitung eines neuen Themas* fallen insgesamt nur sieben Aussagen von sechs Lehrkräften (Peters, Kruse, Schmidt, Lücking, Kampe & Meyer). Die geringe Relevanz dieser Subkategorie ist damit zu erklären, dass die Vorbereitung eines neuen Themas für erfahrene Lehrkräfte selten nötig ist. Aus den getätigten Äußerungen wird aber deutlich, dass bei Berufsanfänger*innen ein Bedarf an weiterbildenden Maßnahmen besteht. Das kann für den Transfer fachdidaktischer Innovation in die Schulpraxis als ein Ansatzpunkt für Unterstützungsmaßnahmen gewertet werden.

Die Subkategorie *3.5.4 Allgemeines Hintergrundwissen* wird von den Personen Lenz, Schneider, Leinert, Krüger und Kampe angeführt. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit ist gering, sodass diese Subkategorie als weniger wichtig für die Materialnutzung eingestuft werden kann. Zu diesem Zweck werden vor allem Lehrbücher (Subkategorie 3.4.6) und populärwissenschaftliche Quellen (Subkategorie 3.4.10) konsultiert.

Der Subkategorie *3.5.5 Keine oder kaum Zeit zum Selbststudium* werden die vier Lehrkräfte Peters, Schmidt, Lenz und Meyer zugeordnet. Trotz der geringen Nennungshäufigkeit suggerieren die diesbezüglich getätigten Aussagen, dass die betreffenden Lehrkräfte im Alltag äußerst wenig Zeit für das Selbststudium aufbringen (können). Schmidt gibt bspw. an, ein Buch zur Relativitätstheorie seit zehn Jahren im Regal stehen zu haben, aber bis jetzt noch nicht dazu gekommen zu sein, es zu lesen. Vor diesem Hintergrund muss zumindest für diese vier Lehrkräfte hinterfragt werden, inwieweit sich

die zuvor vorgestellten Gründe für das Selbststudium nicht auf Einzelfälle oder Ausnahmesituationen beziehen und daher die weiterbildende Rolle von Materialien als marginal eingestuft werden kann. Auch in der Literatur finden sich zahlreiche Hinweise dafür, dass Lehrkräfte selten auf weiterbildende Materialien zurückgreifen (vgl. Abschnitt 3.3.2).

Interessant ist, dass die Subkategorie *3.5.5 Keine oder kaum Zeit zum Selbststudium* nicht unbedingt mit der Subkategorie *2.2.10 Kaum Zeit für die Unterrichtsplanung* zusammenhängt. Dieser Befund könnte bedeuten, dass sich Lehrkräfte mit einer hohen Wertschätzung der eigenen Weiterbildung trotz zeitlich begrenzter Ressourcen Zeit für die eigene Weiterbildung nehmen. Diese Vermutung kann allerdings mit dem vorliegenden Datenmaterial nicht weiter überprüft werden.

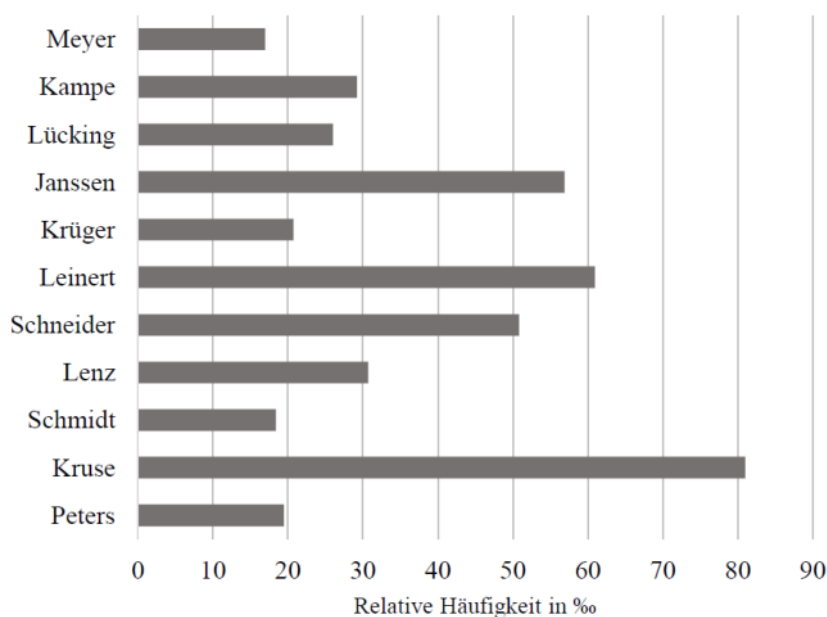


Abbildung 8.22.: Relative Nennungshäufigkeit der Kategorie *3.5 Gründe für das Selbststudium* pro Person (exklusive der Subkategorie *3.5.5 Keine oder kaum Zeit für das Selbststudium*).

In Abbildung 8.22 ist weiterhin die relative Häufigkeit der Anzahl der Nennungen der Subkategorien von *3.5 Gründe für das Selbststudium* pro Person dargestellt. Es fällt auf, dass die relative Nennungshäufigkeit pro Person recht unterschiedlich ausfällt. Obschon die Anzahl der Nennungen nicht direkt auf die Intensität des Selbststudiums schließen lässt, ist zu vermuten, dass diese quantitativen Unterschiede in der Nennungshäufigkeit auf Unterschiede in der Relevanz und Häufigkeit des Selbststudiums hindeuten. Kruse fällt mit besonders vielen Nennungen auf, wohingegen Peters, Schmidt, Krüger und Meyer im Vergleich nur wenig Nennungen zum Selbst-

studium tätigen. Diese Unterschiede werden in den Fallbeschreibungen im Unterkapitel 8.3 erneut aufgegriffen und diskutiert.

8.2.4. Zusammenfassung: Bedingungsfaktoren der Nutzung von MILQ

Aus der bisherigen Ergebnisdarstellung lassen sich die folgenden Befunde zu den Bedingungsfaktoren der Nutzung von MILQ zusammenfassen:

- a) Externe Rahmenbedingungen wie Lehrplanvorgaben oder zeitliche Ressourcen der Lehrkraft scheinen viele weitere Bedingungsfaktoren zu verstärken bzw. zur Folge zu haben.
- b) Bei den personenbezogenen Merkmalen existieren große individuelle Unterschiede zwischen den Personen. Der Einfluss einzelner Faktoren auf die Implementierung scheint eher marginal zu sein, allerdings zeichnen sich Merkmalsgruppen ab, welche die Materialrezeption und -auswahl filtern und steuern.
- c) Hinsichtlich materialbezogener Merkmale bevorzugen die teilnehmenden Lehrkräfte konkrete Maßnahmen für den Unterricht, wobei neben der inhaltlichen Qualität pragmatische Kriterien ebenfalls einen hohen Stellenwert einnehmen.

Die externen Rahmenbedingungen (a) hängen mit vielen weiteren Bedingungsfaktoren zusammen und scheinen daher für die Materialnutzung von großer Wichtigkeit zu sein. Hierbei stechen die Vorgaben durch den Lehrplan in Vorbereitung auf das Zentralabitur und die zeitlichen Ressourcen der Lehrkräfte hervor. Bezeichnend ist, dass neun Lehrkräfte angeben, nur wenig Zeit für die Unterrichtsplanung zu haben. Die digitale Ausstattung der Schule scheint ebenfalls, wenn es um die konkrete Planung und Umsetzung von Unterricht geht, handlungsleitend zu sein. Darüber hinaus beklagt der Großteil der teilnehmenden Lehrkräfte mangelnde Schülerexperimente für die Oberstufe bzw. fehlende Realexperimente für die Quantenphysik. Es lassen sich konkrete Auswirkungen auf die Materialnutzung feststellen, da die Auswahl von Materialien auf der Basis der Lehrplanvorgaben erfolgt und in der Unterrichtsvorbereitung möglichst wenig Zeit beanspruchen soll sowie der Einsatz von Simulationen als Ersatz von Realexperimenten befürwortet wird.

Hinsichtlich der personenbezogenen Merkmale (b) existieren teilweise große individuelle Unterschiede zwischen den teilnehmenden Lehrkräften. Insbesondere der Ausprägungsgrad der didaktischen Innovationsbereitschaft und

des pragmatischen Verhaltens manifestieren sich im Materialnutzungsverhalten. Je nachdem sind die betreffenden Lehrkräfte bereit, viele Anpassungen zur Optimierung an Materialien vorzunehmen bzw. Materialien selber zu entwickeln. Limitierte zeitliche Ressourcen für die Unterrichtsvorbereitung scheinen ein stark pragmatisches Verhalten zu begünstigen oder sogar zu verursachen. Dieser Umstand ist als hemmend für die Implementierung fachdidaktisch innovativer Unterrichtskonzeptionen zu bewerten.

Die fachdidaktische Reflexionstiefe spiegelt sich ebenfalls in vielen Entscheidungsprozessen wider und scheint insofern Einfluss auf das professionelle Handeln der Lehrkräfte bei der Materialnutzung zu haben. Je nachdem werden entweder rational begründete oder eher subjektiv geprägte, intuitive Entscheidungen getroffen. Das hat bspw. Auswirkungen auf die Auswahl von Aufgaben oder die Einbettung von Experimenten im Unterricht. Insgesamt fällt auf, dass die meisten teilnehmenden Lehrkräfte primär auf der Grundlage ihrer eigenen Interessen und weniger auf der der Schüler*innen argumentieren. Das äußert sich in der didaktischen Strukturierung (die Berücksichtigung von Schülervorstellungen spielt keine wesentliche Rolle), bei der Auswahl von Materialien (es muss z.B. für die Lehrkraft von Interesse sein) und in den Motiven zur eigenen Weiterbildung (weniger zur Verbesserung der Unterrichtsqualität als vielmehr, um als Lehrkraft etwas Neues dazu zu lernen, damit der Berufsalltag nicht zu eintönig wird).

Darüber hinaus berichtet ein Großteil der befragten Lehrkräfte, dass für sie die Erarbeitung von Interpretationsfragen und eines qualitativen Konzeptverständnisses einen hohen Stellenwert beim Unterrichten von Quantenphysik hat. Dies kann als implementationsförderlich für MILQ eingestuft werden, da die betreffenden Lehrkräfte somit ähnliche Intentionen wie bei MILQ verfolgen. Ferner kann aus den Vorstellungen zur Materialnutzung ein großes Autonomiebestreben, große individuelle Unterschiede in der Materialnutzung und eine insgesamt eher geringe Innovationsbereitschaft (auch wenn gut ein Viertel der Stichprobe sich selber als didaktische innovationsbereit einschätzt) abgeleitet werden.

Es können zwar viele lokale Zusammenhänge zwischen einzelnen Bedingungsfaktoren identifiziert werden, allerdings scheinen solche Wirkzusammenhänge keinen bedeutsamen Einfluss auf die globale Materialnutzung zu haben. Stattdessen scheint es sich um komplexe Wirkmechanismen zu handeln, weshalb im Folgenden einige personenbezogene Merkmale als Merkmalsgruppen in Anlehnung an Befunde von Merzyn (1994), Vollstädt et al. (1999) und Tänzer (2011; 2017) zu pädagogischen Grundpositionen zusammengefasst werden. In Abschnitt 3.3.3 wurde vorgestellt, dass die pädagogischen Grundpositionen *fachlich orientiert* und *pädagogisch orientiert* Ein-

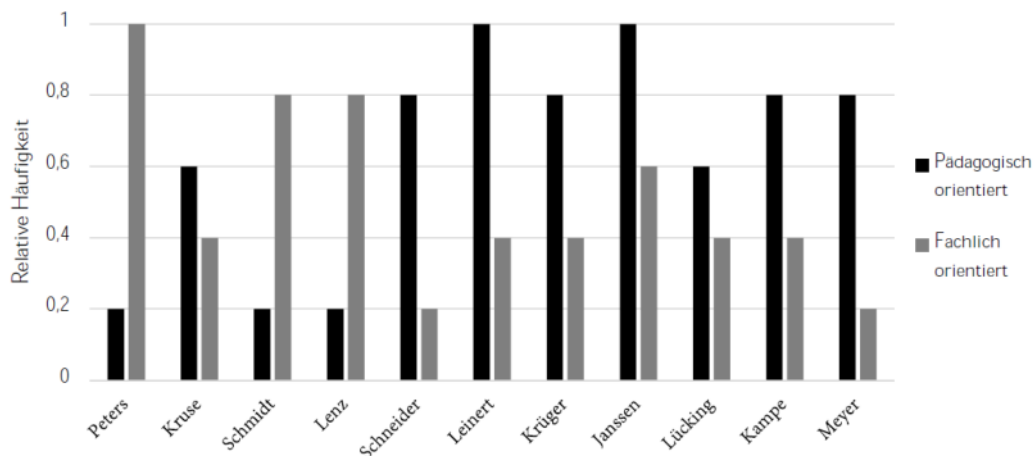


Abbildung 8.23.: Ausprägungen der fachlichen und pädagogischen Grundpositionen. Die relative Häufigkeit gibt an, wie vielen der jeweils fünf Subkategorien einer Lehrkraft zugeordnet wurde.

fluss auf die Materialrezeption und -nutzung haben.¹⁰¹ In Anlehnung an Items aus dem Fragebogen von Vollstädt et al. (1999) werden die folgenden fünf Subkategorien (in ihrer hohen Ausprägung) zu einer fachlichen Grundposition zusammengefasst: *1.2 Lehrergelenkt*, *1.4 Fachsystematisch*, *1.6 Experiment handlungsleitend*, *2.1.2 Technische Innovationsbereitschaft* und *6.1.2 Fachliche Perspektive*. Analog werden die folgenden fünf Subkategorien (in ihrer hohen Ausprägung) zu einer pädagogischen Grundposition zusammengefasst (vgl. Vollstädt et al., 1999): *1.1 Schüleraktivierend*, *1.3 Berücksichtigung des Vorwissens*, *1.4 Motivierend*, *2.1.1 Didaktische Innovationsbereitschaft* und *6.1.1 Fachdidaktische Perspektive*.

Abbildung 8.23 zeigt den Grad der Ausprägung für beide Grundpositionen. Wenngleich alle teilnehmenden Lehrkräfte sowohl Anteile einer pädagogischen Grundposition als auch Anteile einer fachlichen Grundposition besitzen, sind deutliche Unterschiede zwischen den teilnehmenden Lehrkräften zu erkennen. Bei drei Lehrkräften (Peters, Schmidt & Lenz) dominiert der fachliche Anteil deutlich. Auffällig ist, dass es sich bei Peters und Schmidt um Quereinsteiger handelt, was vermutlich diese Grundposition begünstigt. Weiterhin zeigen Kruse und Lücking keine besondere Ausprägung zu einer der beiden Grundpositionen. Bei den verbleibenden sechs Lehrkräften (Schneider, Leinert, Janssen, Krüger, Kampe & Meyer) ist die pädagogische Grundposition hingegen stärker ausgeprägt und überwiegt deutlich im

¹⁰¹ Vollstädt et al. (1999) betrachten darüber hinaus noch die pädagogische Grundposition *systemisch orientiert*. Da auf diese Grundposition in der Form in den anderen Quellen nicht verwiesen wird, wird auf sie in der vorliegenden Untersuchung verzichtet. Nichtsdestotrotz wird natürlich mit einzelnen Subkategorien die Lehrplanorientierung festgehalten.

Vergleich zur fachlichen Grundposition. Auf den Einfluss der pädagogischen Grundposition auf die Materialnutzung wird im späteren Verlauf (insbesondere in Unterkapitel 8.3) eingegangen.

Es lassen sich darüber hinaus viele verschiedene Materialnutzungskriterien (c) aus den Äußerungen der Lehrkräfte ableiten. Am stärksten handlungsleitend scheint die Auswahl von Aufgaben und passender Themen zu sein. Es liegen Hinweise vor, dass diesen Kriterien als Motive die Einhaltung der Vorgaben durch das Abitur und die Passung zum eigenen Vorgehen zugrundeliegen. Die befragten Lehrkräfte geben außerdem ein angemessenes Anforderungsniveau für die Schüler*innen als weiteres Auswahlkriterium an. Neben solchen inhaltlichen Kriterien spielen weiterhin auch pragmatische Materialnutzungskriterien wie Arbeitserleichterung oder geringer Kopieraufwand als Konkretisierung eines pragmatischen Verhaltens eine wichtige Rolle. Tatsächlich entfallen rund 40 % aller genannten Materialnutzungskriterien auf formale bzw. pragmatische Auswahlkriterien. Das ist insofern bezeichnend, als sich diese Kriterien nicht bzw. kaum auf den Inhalt und die Qualität von Materialien beziehen.

Darüber hinaus zeigt sich anhand der herangezogenen Materialien ein sehr individuell geprägtes Nutzungsverhalten der teilnehmenden Lehrkräfte, welches durch die jeweiligen Vorstellungen zur Materialnutzung geprägt ist. Die befragten Lehrkräfte greifen vor allem auf Schulbücher und die eigene Materialsammlung zurück, wobei Schulbücher eher weniger im Unterricht als vielmehr für die Unterrichtsvorbereitung verwendet werden. Materialien mit Weiterbildungspotential werden selten konsultiert.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die teilnehmenden Lehrkräfte ein hohes Maß an Selbstständigkeit bei der Auswahl und dem Einsatz von Materialien aufweisen. Sie treffen Entscheidungen vor allem auf der Grundlage ihres bisherigen Erfahrungswissens, wobei vielfach keine (stichhaltigen) Gründe für Entscheidungen expliziert werden. Dabei stehen die Interessen der Lehrkraft und weniger die Perspektive oder der Lernzuwachs der Schüler*innen im Vordergrund. Nichtsdestotrotz ist die Materialnutzung sehr individuell geprägt, was die Konsultierung des Schulbuches, der eigenen Materialsammlung und die weiterer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen sowie die Vorstellungen zur Materialnutzung demonstrieren. Die Materialrezeption und -nutzung wird folglich stark durch Personenmerkmale gesteuert. An vielen Stellen ist ein Einfluss durch pädagogische Grundpositionen zu beobachten, allerdings wird hierbei die Vielschichtigkeit bestimmter Wirkmechanismen deutlich, da bspw. der Auswahl von Aufgaben sowohl eine pädagogisch orientierte Grundposition (Eigentätigkeit der Schüler*innen, Verfestigen von Fähigkeiten) als auch eine fachlich orientierte Grundposition (Vermittlung fachlicher Inhalte) zugrundeliegen kann.

Als zentrale implementationsförderliche Bedingungsfaktoren für den Transfer fachdidaktischer Innovationen bzw. von MILQ im Speziellen können eine hohe didaktische Innovationsbereitschaft und ein Fokus auf die Behandlung von Interpretationsfragen der Quantenphysik identifiziert werden. Ein hohes Engagement bezüglich der Adaption von Materialien kann ebenfalls als positiv im Sinne einer Optimierung von Materialien eingestuft werden. Zentrale implementationshinderliche Bedingungsfaktoren stellen hingegen begrenzte zeitliche Ressourcen für die Unterrichtsvorbereitung, ein ausgeprägt pragmatisches Verhalten und das Bestreben der Vereinbarkeit neuer Materialien mit dem bisherigen eigenen Vorgehen dar.

Im Folgenden erfolgt eine Vorstellung der Rezeption und Nutzung von MILQ, welche mit den präsentierten Bedingungsfaktoren in Beziehung gesetzt wird, um mögliche Wirkmechanismen abzuleiten.

8.2.5. Rezeption und Nutzung von MILQ

8.2.5.1. Bekanntheit

Es geben sechs Lehrkräfte (Peters, Schmidt, Lenz, Krüger, Lücking & Jansen) an, MILQ vor der Teilnahme an der vorliegenden Studie nicht gekannt bzw. sich nicht damit auseinandergesetzt zu haben (Subkategorie 4.1). Die restlichen fünf Lehrkräfte berichten, dass sie zumindest Teile von MILQ schon kennen und teilweise schon im Unterricht einsetzten. Kruse und Schneider kannten mehrere Arbeitsblätter aus MILQ wie bspw. die quantitative Auswertung des Photoeffekts. Leinert nutzte indes schon vor der Teilnahme an der vorliegenden Studie die Website von MILQ und hatte sich nach eigenen Angaben mit dem Unterrichtskonzept für die Sek I von Schorn und Wiesner (2008) (welchem die gleichen Grundgedanken wie MILQ zugrundeliegen) näher beschäftigt (vgl. Abschnitt 5.2.1). Meyer und Kampe ist MILQ hingegen aus dem Studium aus einer physikdidaktischen Veranstaltung zur didaktischen Rekonstruktion bekannt. Somit ist zu vermuten, dass Meyer und Kampe und möglicherweise auch Leinert sich bereits mit MILQ als Unterrichtskonzeption auseinandergesetzt haben und mit dem zugrundeliegenden Konzept vertraut sind. Daher liegen unterschiedliche Ausgangsvoraussetzungen für die Nutzung von MILQ bei den verschiedenen Probanden vor, deren Einfluss auf die Rezeption und Nutzung von MILQ im späteren Verlauf untersucht wird.

8.2.5.2. Zugriff auf MILQ

Neun Lehrkräfte (alle außer Leinert & Lücking) greifen nach eigenen Angaben auf MILQ mittels des bereitgestellten Materialordners zurück (Subkategorie 4.2). Alternativ bzw. zusätzlich berichten acht Lehrkräfte (alle außer

Peters, Schmidt & Janssen), die bereitgestellte DVD zu MILQ zu verwenden. Leinert gibt als einziger an, auch die Website von MILQ konsultiert zu haben. Weiterhin sprechen sich Leinert und Lücking aus Gründen der Verfügbarkeit und Praktikabilität (z.B. Volltextsuche) für ein rein digitales Nutzungsformat aus, was erklärt, weshalb sie keinen Gebrauch vom Materialordner machten. Es liegen keine Aussagen vor, dass eine Lehrkraft ihre Schüler*innen auf die Website aufmerksam machte oder gar zu einer Online-Nutzung aufforderte (was hinsichtlich des unter Subkategorie 3.3.2 bemängelten Kopierkontingents eine mögliche Umgangsform dargestellt hätte).

Vermutlich verwendet ein Großteil der teilnehmenden Lehrkräfte den Materialordner, da dieser den teilnehmenden Personen zur Verfügung gestellt wurde und daher das direkteste und niederschwelligste Nutzungsformat darstellt. Aus dem gleichen Grund ist die Nutzung der bereitgestellten DVD naheliegender als die der Website, weshalb wahrscheinlich kaum eine Lehrkraft auf die Website zurückgriff. Daher kann aus dem Nutzungsverhalten der teilnehmenden Lehrkräfte für die Bereitstellung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen nicht abschließend gefolgert werden, ob eine Bereitstellung im Buchformat grundsätzlich bevorzugt wird oder diese Bevorzugung lediglich auf die Rahmenbedingungen der vorliegenden Untersuchung zurückzuführen ist und unter anderen Umständen eine alleinige Bereitstellung im Internet äquivalent angenommen würde.

8.2.5.3. Geringe Qualität des Konzepts

Im Schnitt fallen 68 % aller Aussagen pro Person auf *4.3.1 Geringe Qualität des Konzepts* und 41 % auf *4.3.2 Hohe Qualität des Konzepts*. Quantitativ liegen folglich mehr kritische als lobende Aussagen zu MILQ vor. Das ist allerdings u.a. dem Umstand geschuldet, dass die Kategorien *4.3.2 Hohe Qualität des Konzepts* und *4.5 Grad der Umsetzung von MILQ* nicht doppelt codiert wurden, sondern eine Entscheidungsregel formuliert wurde (auf diese Weise soll die Rezeption mit der Umsetzung verglichen werden; nachzulesen auf Anfrage im Codiermanual). Da jedoch offensichtlich nur Materialien im Unterricht umgesetzt werden, die den Lehrkräften auch zusagen, fällt die Meinung zu MILQ höchstwahrscheinlich weniger negativ aus, als es durch die Kontrastierung von *4.3.1 Geringe Qualität des Konzepts* und *4.3.2 Hohe Qualität des Konzepts* abgebildet wird.

Zunächst werden kritische Äußerungen näher betrachtet. Sowohl aus den Personenanzahlen (vgl. Abb. 8.24) als auch aus den durchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeiten (vgl. Abb. 8.25) wird deutlich, dass viele verschiedene Kritikpunkte zu MILQ geäußert werden, von denen die meisten allerdings nur selten und von wenigen Lehrkräften angebracht werden. Demnach scheint die Kritik an MILQ individuell sehr unterschiedlich auszufallen.

Das zeigt sich weiterhin in der durchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeit der gesamten Kategorie *4.3.1 Geringe Qualität des Konzepts*, die pro Person zwischen minimal 12 ‰ (Janssen) und maximal 174 ‰ (Schmidt) sehr variiert. Dies kann entweder darauf hindeuten, dass einige Lehrkräfte MILQ wesentlich kritischer bewerten als andere, oder, dass einige Lehrkräfte sich wesentlich intensiver mit MILQ auseinandergesetzt haben und daher detaillierter Kritik üben können. Das wird im weiteren Verlauf diskutiert.

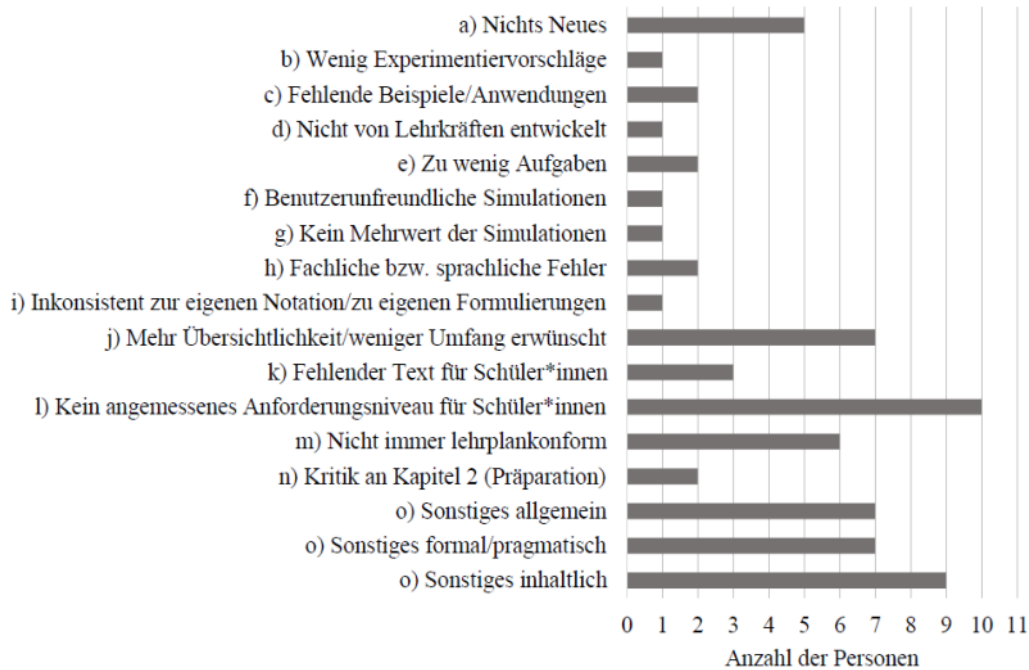


Abbildung 8.24.: Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen Kritikpunkt an MILQ.

Im Folgenden werden die Befunde zu den einzelnen Subkategorien genauer vorgestellt. Die Subkategorie *a) Nichts Neues* wird von fünf Lehrkräften (Peters, Schmidt, Schneider, Janssen & Kampe) genannt. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit ist vergleichsweise niedrig. Nichtsdestotrotz ist aus den Aussagen der betreffenden Lehrkräfte abzuleiten, dass dieser Kritikpunkt für die jeweiligen Lehrkräfte ein Grund ist, ihr bisheriges Vorgehen beim Unterrichten von Quantenphysik nicht grundlegend abzuändern (vgl. Gräsel & Parchmann, 2004; Schrader et al., 2020). Hierzu vergleichen die betreffenden Lehrkräfte MILQ mit dem Schulbuch (Subkategorie 3.4.1) oder mit dem eigenen Skript zur Quantenphysik (Subkategorie 3.4.3):

„Das [gemeint ist MILQ] habe ich mir durchgelesen und als ich Münchener Modell da gelesen habe, da habe ich gedacht, die würden jetzt alles neu erfinden (I kichert) und hätten irgendwas ganz tolles Neues gemacht. *Und dann lese ich mir das Ganze so durch und stelle fest, das ist so, wie wir das*

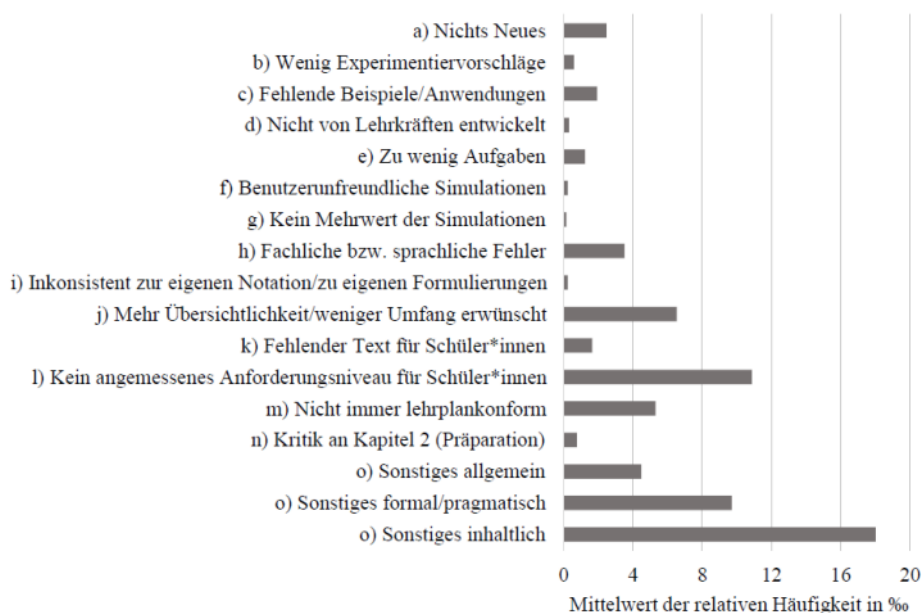


Abbildung 8.25.: Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings pro Person je Kritikpunkt an MILQ.

immer gemacht haben. [...] Finde ich sehr enttäuschend eigentlich. Wenn ich es also mir neben das Inhaltsverzeichnis vom Dorn-Bader lege, dann stelle ich fest, das ist dasselbe“ (Schmidt, I1, 241ff.).

Es wird deutlich, dass sich die betreffenden Lehrkräfte etwas anderes von MILQ erhofften, wobei die Erwartungen zwischen den Lehrkräften durchaus unterschiedlich ausfallen. Schmidt erwartete andere Themen oder Unterschiede in der Themenabfolge, wohingegen Peters (I2, 118) berichtet: „Ich hätte mir erhofft, dass ich noch ein paar Ideen für neue Experimente bekommen hätte, [...] aber das sind ja wieder die Standardexperimente, die hier drin stehen.“ Offenbar folgt aus Peters handlungsleitender Haltung dem Experiment gegenüber (Subkategorie 1.6), dass er die Behandlung von Experimenten als Auswahlfilter an Materialien anlegt. Dies suggeriert ebenfalls der Kritikpunkt *b) Wenig Experimentiervorschläge*, der lediglich von Peters angeführt wird.

Peters und Schmidt nehmen keinen Bezug auf den fachdidaktisch innovativen Charakter von MILQ, weshalb es wahrscheinlich ist, dass sie MILQ aus ihrer Perspektive als nichts Neues wahrnehmen, das fachdidaktische Innovationspotential allerdings nicht erkennen. Aus den Aussagen der weiteren Lehrkräfte lässt sich nicht ableiten, was sie unter „nichts Neues“ verstehen. Es stellt sich die Frage, ob ihnen die enthaltene fachdidaktische Innovation bereits bekannt ist oder ob sie ebenfalls das Innovationspotential von

MILQ nicht registrieren. Diese Frage wird im späteren Verlauf ausführlicher diskutiert.

Als weiteren Kritikpunkt an MILQ führen Peters und Leinert *c) Fehlende Beispiele/Anwendungen* an. Insbesondere Peters nennt diesen Aspekt häufig (13 ‰), was in der durchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeit aufgrund der niedrigen Personenanzahl nicht ohne Weiteres abzulesen ist (2 ‰). Beide Lehrkräfte vermissen an MILQ den Lebensweltbezug. Peters nennt als mögliches Beispiel Quantencomputer, woran sich erneut seine technische Orientierung zeigt (Subkategorie 2.1.2), welche auch die Materialauswahl prägt. Leinert hingegen kritisiert, dass MILQ wenig „handlungsorientiert“ (Leinert, 12, 42) sei, was vermutlich auf seine pädagogisch orientierte Grundposition zurückzuführen ist, die sich ebenfalls in Bezug auf die allgemeine Materialnutzung in der Suche nach Kontexten (Subkategorie 3.2.13) konkretisiert.

Da die Subkategorie *3.2.13 Alltagsbezug/interessefördernd* als allgemeines Materialnutzungskriterium von vielen Lehrkräften genannt wurde, verwundert es, dass dieser Kritikpunkt nur von zwei Lehrkräften MILQ gegenüber angebracht wird. Möglicherweise akzeptieren die anderen Lehrkräfte diesen Gesichtspunkt als grundsätzliche Schwierigkeit der Quantenphysik und legen fehlende Kontextbezüge daher nicht MILQ zur Last. In den Interviews gibt es allerdings diesbezüglich keine Aussagen, die diese Hypothese unterstützen würden.

Die Subkategorie *d) Nicht von Lehrkräften entwickelt* wird nur von Schmidt als Kritikpunkt angeführt. Er führt nicht weiter aus, woran er das erkennt – weshalb anzunehmen ist, dass dies keine analytische Schlussfolgerung, sondern eine Heuristik darstellt. Das ist insofern bezeichnend, als dass es sich um eine grundsätzliche Kritik der Materialentwicklung durch fachdidaktische Forscher*innen handelt und vermutlich auf eine Vorstellung, dass an Universitäten Maßnahmen ohne ausreichende Beachtung der Schulrealität entwickelt werden, schließen lässt. Möglicherweise ist diese kritische Haltung auch auf den (impliziten) Top-Down-Ansatz der Vermittlung von MILQ zurückzuführen (vgl. Vollstädt et al., 1999; Gräsel & Parchmann, 2004), sodass sich Schmidt als Experte nicht ausreichend gewertschätzt fühlt.

Die Subkategorie *e) Zu wenig Aufgaben* wird von den zwei Lehrkräften Kruse und Lenz genannt. Da sich ebenfalls für die Materialnutzung im Allgemeinen ein gutes Angebot an Aufgaben als ein wichtiges Materialnutzungskriterium (Subkategorie 3.2.5) herausstellte, überrascht es nicht, dass dieses Kriterium auch an MILQ angelegt wird. Die anderen Lehrkräfte scheinen diese Kritik allerdings nicht zu teilen. In diesem Zusammenhang scheint u.a. Kruses schüleraktivierende Vorstellung (Subkategorie 1.1) handlungssteuernd zu sein:

„Was mir hier wirklich fehlt, sind tatsächlich so *Aufgabenstellungen*, also was *Schüler noch so machen können*. Also wie so am Anfang hier mit diesem Arbeitsblatt so bei dem Photoeffekt“ (Kruse I2, 74).

Die Kritik von Lenz an den Aufgaben ist insofern bezeichnend, da sie ausschließlich die Quantität des Angebots an Aufgaben und nicht ihre Qualität bemängelt, gleichzeitig aber von den in MILQ enthaltenen Arbeitsblättern keines einsetzt (vgl. Kategorie 4.5). Vielleicht hätte sie gerne eine größere Auswahl an Aufgaben gehabt, um sich für sie passende herauszusuchen – wobei dann aber ungeklärt bliebe, nach welchen Kriterien sie Aufgaben ausgewählt hätte.

Weiterhin ist Kruse der Meinung, die Simulationen in MILQ seien benutzerunfreundlich (Subkategorie f). Kruse erweckt allerdings den Eindruck einer geringen digitalen Medienkompetenz, weshalb die von Kruse getätigte Kritik vermutlich nicht MILQ zulasten gelegt werden kann. Diese Vermutung wird in Kruses Fallbeschreibung (Unterkapitel 8.3) weiter ausgeführt.

Peters sieht hingegen keinen Mehrwert in den Simulationen von MILQ (Subkategorie g). Hierbei handelt es sich jedoch um einen Ausdruck für eine Simulationen gegenüber grundsätzlich kritische Haltung (vgl. Abschnitt 8.2.2). Zudem gibt Peters an, sich die Simulationen gar nicht angesehen zu haben (vgl. Subkategorie 4.4.4).

Ferner verweisen Kruse und Schmidt auf fachliche bzw. sprachliche Fehler in MILQ (Subkategorie h). Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit liegt zwar aufgrund der niedrigen Personenanzahl bei nur 4 ‰ – fällt aber im Schnitt für Kruse und Schmidt mit 19 ‰ vergleichsweise hoch aus. Das ist insofern bemerkenswert, als zu erwarten wäre, dass fachliche Fehler von mehreren Lehrkräften bemerkt und bemängelt worden wären. Eine Analyse der Äußerungen diesbezüglich zeigt, dass sich Kruses Kritik auf Feinheiten wie eine fehlerhafte Umrechnung von Einheiten bezieht und daher nicht die grundsätzliche fachliche Qualität von MILQ infrage stellt. Schmidts Äußerungen können hingegen als eher pedantisch und defizitorientiert beschrieben werden:

- „(Liest aus MILQ vor) „Ergibt dieselbe Verteilung“. *Eine Ähnliche. Das ist nicht dieselbe!* (Liest weiter vor) „Jedes Mal, wenn die gleiche Serie an Experimenten durchgeführt wird, ergibt sich dieselbe Verteilung der relativen Häufigkeiten.“ *Das ist schlicht und einfach falsch.* [...] Ja, hallo? Dann wäre es, dann wäre es deterministisch und eben nicht zufällig“ (Schmidt, I1, 369ff.).
- „Es ist schlicht und einfach *physikalisch völliger Unsinn*, was er [Rainer Müller, Autor von MILQ] da tut und deswegen dick und fett falsch. Da hat er schlicht und einfach von der Physik keine Ahnung. Also auch fachlich. Ne? Wenn man das nicht unterscheiden kann, *Bragg und Debye-Scherrer* nicht

unterscheiden kann. [...] Und das durcheinander wirft, dann lässt das echt tief blicken. *Also das darf einem Physiker, einem diplomierten Physiker nicht passieren und einem Doktor und Professor schon mal gar nicht*“ (Schmidt, II, 390).

Bemerkenswert ist, dass Schmidt (als einzige Lehrkraft der Stichprobe) eine personifizierte Kritik am Autor von MILQ übt (obschon Schmidt Rainer Müller nicht kennt) (vgl. auch Subkategorie *d) Nicht von Lehrkräften entwickelt*).¹⁰² Da Schmidt sich diesbezüglich von den restlichen Probanden abhebt, wird dazu mehr in seiner Fallbeschreibung (Unterkapitel 8.3) berichtet.

Die Subkategorie *i) Inkonsistent zur eigenen Notation/zu eigenen Formulierungen* wird nur von Kruse und das mit einer niedrigen relativen Nennungshäufigkeit genannt, sodass dieser Kritikpunkt wenig relevant für die Rezeption von MILQ zu sein scheint.

Die Subkategorie *j) Mehr Übersichtlichkeit/weniger Umfang erwünscht* wird hingegen von sieben Personen (Kruse, Schmidt, Lenz, Leinert, Krüger, Lücking & Meyer) mit einer mittleren durchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeit angeführt (vgl. Merzyn, 1994). Kritisiert werden u.a. die Beschriftung und Positionierung von Abbildungen im Fließtext – was zwar sicherlich nicht als Ausschlusskriterium zu verstehen ist, aber möglicherweise Potential für eine nutzerfreundlichere Gestaltung von MILQ aufzeigt. Weiterhin beanstanden die betreffenden Lehrkräfte den hohen Umfang des Lehrtextes, aufgrund dessen sie dem Text nicht auf Anhieb die zentralen Informationen entnehmen können und daher für die Unterrichtsvorbereitung „zu viel Text“ (Schmidt, SR2, 196) lesen müssen:

„Was nicht funktioniert, ist quasi, wenn man den Text nur mal so ganz grob zuhause überflogen hat und versucht, das jetzt so ein bisschen damit sich durch den Unterricht zu hangeln. Weil dafür ist da einfach zu viel Text. [...] Sprich, man müsste, wenn man sich eh wirklich dann so auf die konkrete Stunde vorbereitet, dann müsste ich als Lehrer erst einmal diese Seiten alle lesen und quasi dann jetzt irgendwie daraus was Eigenes zusammenschreiben. Wie auf einen Zettel machen so: „Das tue ich“, „Darüber reden wir“, „Das zeige ich“ und „Das schreiben wir auf“. Ehm, ne? *Das steckt da alles drin, aber ich muss es selber irgendwie raussuchen, zusammentun*“ (Lücking, I2, 35).

Es äußert sich zum einen der Wunsch nach mehr Anleitungen bzw. konkreten Hilfestellungen für den Unterricht (bspw. Unterrichtsentwürfe) sowie zum anderen das Bestreben nach einem geringen Arbeitsaufwand (Subkategorie 2.1.3). Diese Aspekte werden auch von anderen Lehrkräften angeführt,

¹⁰²Janssen bezieht sich zwar ebenfalls auf Rainer Müller als Person, allerdings fallen seine Ausführungen positiv aus, da er weitere Werke von Müller kennt und ihn als kompetenten Autor bewertet.

wobei ersteres widersprüchlich zum unter 3.1 *Vorstellungen zur Materialnutzung* festgestellten Autonomiebestreben zu sein scheint. Diese inkonsistenten Erwartungen an Materialien werden im weiteren Verlauf erneut aufgegriffen und diskutiert.

Darüber hinaus bemängeln mehrere der betreffenden Lehrkräfte, dass die Umsetzung des gesamten Lehrtextes mehr Unterrichtszeit beanspruche, als ihnen für die Quantenphysik zur Verfügung stünde (Subkategorie 2.2.9). Hierbei handelt es sich offensichtlich um Kritik grundsätzlicher Art an MILQ. Weiterhin kommen einige der betreffenden Lehrkräfte aufgrund des hohen Umfangs zu dem Schluss, dass MILQ zwar für Lehrkräfte als Vorbereitungstext (Subkategorie 4.3.2a), aber nicht für Schüler*innen zum Lesen geeignet ist (vgl. Subkategorie k).

Die Subkategorie *k) Fehlender Text für Schüler*innen* wird von den drei Lehrkräften Schmidt, Lenz und Lücking als Kritikpunkt an MILQ angeführt. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit fällt zwar gering aus, allerdings handelt es sich hierbei ebenfalls um Kritik grundsätzlicher Art, weshalb dieser Aspekt durchaus als relevant eingestuft wird.

„Das heißt, *ich muss das herunterbrechen auf eine Ebene, die die Schüler verstehen*, die die Schüler anspricht und die ich in einer halben Stunde erledigen kann“ (Lenz SR1, 123).

Dabei vergleichen die betreffenden Lehrkräfte MILQ oftmals mit Schulbüchern und kritisieren, dass MILQ für Schüler*innen zu schwer im Anforderungsbereich sei (Subkategorie l) und „dann greift es insgesamt zu kurz“ (Schmidt, I1, 323). Erneut manifestiert sich das pragmatische Verhalten der Lehrkräfte (Subkategorie 2.1.3) in der Materialnutzung, möglichst wenig zusätzlichen Arbeitsaufwand mit der Anpassung von Materialien zu haben (vgl. auch Subkategorie 3.3.1). Weiterhin zeigt sich eine starke Prägung durch Schulbücher, obwohl diese von den Lehrkräften ebenfalls häufig (auch hinsichtlich des Anforderungsbereiches) kritisiert werden (Subkategorie 3.4.1).

Unter den genannten Kritikpunkten hebt sich die Subkategorie *l) Kein angemessenes Anforderungsniveau für Schüler*innen* besonders ab. Ihr können als einziger Subkategorie – neben der Sammelkategorie *o) Sonstiges* – zehn Lehrkräfte (alle außer Kampe) zugeordnet werden. Weiterhin ist die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit für diese Subkategorie am höchsten (mit Ausnahme der Sammelkategorie *o) Sonstiges*). Offensichtlich handelt es sich um ein zentrales Materialnutzungskriterium für die teilnehmenden Lehrkräfte, was durch die allgemein genannten inhaltlichen Kriterien für die Materialnutzung bestätigt wird (Subkategorie 3.2.9). In Bezug auf MILQ wird ausschließlich ein zu hohes Anforderungsniveau kritisiert – insbesondere bezüglich des mathematischen Anspruches. Hierbei zeigt sich ein Zusammenhang mit Kategorie 5.5 *Stellenwert der Mathematik*. Weiterhin wird

oftmals Bezug zum Lehrplan genommen („nicht abiturelevant, weil es halt zu komplex wird“, Schmidt, I1, 270) (vgl. Subkategorie *m*) *Nicht immer lehrplankonform*). Insgesamt liegt dieser Kritik vermutlich die Vorstellung zum Lehren und Lernen *1.3 Berücksichtigung des Vorwissens* zugrunde.

Es bleibt jedoch unklar, inwiefern sich die betreffenden Lehrkräfte auf das gesamte Konzept oder lediglich auf den Aufbaukurs beziehen, da sie kaum mit der Unterteilung von MILQ in Basiskurs und Aufbaukurs (vgl. Abschnitt 5.2.2) argumentieren. Eine Ausnahme bildet Schmidt (I1, 254):

„Diese Aufteilung von Grund- und Leistungskurs hat mich nicht überzeugt, weil im ersten Teil auch für den Grundkurs zu wenig, es zu wenig ins Detail geht. [...] Und für den Leistungskurs ist dann der zweite Teil sogar etwas zu viel. Und dadurch, dass es auseinandergerissen ist und zweimal quasi dasselbe gemacht wird im Wesentlichen, einmal nur phänomenologisch, einmal nur mathematisch, fehlt der Zusammenhang. [...] Da hätte man komplett zweigleisig fahren müssen und sagen, ich mache ein Skript für den Grundkurs und eins für den Leistungskurs.“

Mehrere Grundkurs-Lehrkräfte (Peters, Meyer & Kampe) schätzen MILQ für den Grundkurs vom Niveau her als zu schwer an, können sich aber vorstellen, dass es für den Leistungskurs einzusetzen. Möglicherweise ist einigen dieser Lehrkräfte nicht bewusst, dass nur der Basiskurs für den Grundkurs konzipiert ist. Da allerdings die Leistungskurs-Lehrkräfte (Schmidt, Lenz, Krüger & Lücking) das Niveau ebenfalls als zu hoch beanstanden, kann vermutet werden, dass das grundsätzliche Niveau von MILQ als zu anspruchsvoll eingeschätzt wird. Weiterhin stellt sich diesbezüglich die Frage, inwiefern die Kritik im Kern darauf abzielt, dass es sich bei MILQ um eine Handreichung für Lehrkräfte handelt, wie bereits zur Subkategorie *k*) *Fehlender Text für Schüler*innen* thematisiert: „Die Gleichungen werden nicht hergeleitet, die werden nicht erklärt, sondern- //I: Es werden keine Umformungsschritte [angegeben]“ (Lenz, I2, 49). Einige Aussagen beziehen sich im Gegensatz dazu auf die didaktische Strukturierung:

- „Aber dann das ganze *Kapitel 8*, das ist, ich weiß nicht, *ob man das mit Schülern machen muss*“ (Krüger I1, 152).
- „Das überhaupt ein *Interferometer* dafür zu benutzen, das ist so kompliziert. Ich habe erst mal *dieses komplizierte runde Beugungsbild*, was an sich schon viel schwerer zu verstehen ist als das am Doppelspalt und dann baue ich zusätzlich nochmal ein *Interferometer* ein, was die Schüler auch nicht verstehen. Und wenn ich schlicht den *Doppelspalt* nehme, ist es so viel einfacher, ne? *Ich kann das geometrisch ganz einfach hinzeichnen, kann direkt sehen, das ist der zusätzliche Gangweg, den das hat*. Wie soll das ich denn hierbei machen? Und wenn ich vorher noch einen Gangunterschied in so einem In-

terferometer mit zwei verschiedenen Strahlenwegen habe, das versteht doch kein Schüler“ (Schmidt, I1, 343).

Bei anderen Aussagen wird der Bezug wiederum nicht klar:

- „Dieser Ordner, der ist total super, aber *für einen Grundkurs schon sehr schwierig*“ (Schneider, I2, 138).
- „Also wenn man einem Schüler das in die Hand drückt und sagt, lies das, dann weiß der hinterher überhaupt nicht, was los ist, *ist nur verwirrt*“ (Schmidt, I1, 249).

Dementsprechend ist zu vermuten, dass eine schülergerechte Aufbereitung der Inhalte die Akzeptanz der Lehrkräfte von MILQ in Hinsicht auf die Angemessenheit für Schüler*innen bereits wesentlich erhöhen könnte.

Die Subkategorie *m) Nicht immer lehrplankonform* wird von sechs Lehrkräften (Kruse, Schmidt, Lenz, Schneider, Krüger & Meyer) mit einer mittleren durchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeit genannt. Kritisiert wird u.a., dass die Unbestimmtheitsrelation, Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die Wellenfunktion und die Schrödinger-Gleichung laut Kernlehrplan nicht im Grundkurs behandelt werden müssen. Tatsächlich sind bis auf die Schrödinger-Gleichung alle zuvor genannten Inhaltsbereiche bereits im Basiskurs von MILQ, der für den Grundkurs gedacht ist, enthalten. Bemerkenswert an dieser Kritik ist, dass es sich bei Schmidt, Lenz und Krüger nicht um Grundkurslehrkräfte handelt und dieser Punkt insofern auf ihre Kurse nicht zutrifft. Kruse und Schneider verfolgen in ihren Grundkursen hingegen selber Ziele über die Lehrplanvorgaben hinaus (Subkategorie 2.2.1), weshalb der starke Bezug auf den Lehrplan vor diesem Hintergrund etwas widersprüchlich erscheint.

Weiterhin wird allgemein das Schwierigkeitsniveau (vgl. Subkategorie l) als nicht lehrplankonform bemängelt. Lenz und Schneider (die beide an der gleichen Schule tätig sind) geben außerdem an, dass die Sachstruktur von MILQ nicht zu ihrem schulinternen Curriculum passen würde, demzufolge nach der Behandlung von Photonen zunächst die Bestimmung der spezifischen Masse von Elektronen mittels Millikan-Versuch und Fadenstrahlrohr folge. Schneider merkt zudem an, dass das Thema Präparation nicht im Kernlehrplan vorgesehen sei (vgl. Subkategorie n). Zweifellos ist diese Einschätzung von MILQ aufgrund der hohen Bedeutsamkeit der Lehrplanvorgaben für die teilnehmenden Lehrkräfte (Subkategorie 2.2.2) erheblich implementationshemmend, sodass infolgedessen keine enge Orientierung an MILQ von den betreffenden Lehrkräften zu erwarten ist.

Ferner kritisieren Kruse und Lenz das Kapitel 2 aus MILQ zum Thema *Präparation* (Subkategorie n). Das ist insofern bezeichnend, da es sich

bei Kapitel 2 um ein Kernelement der Innovation von MILQ (Begriffsbildung) handelt. Daher kann die Kritik an Kapitel 2 als Indiz dafür gewertet werden, dass entweder das Innovationspotential von MILQ von den betreffenden Lehrkräften nicht (vollständig) erkannt wird oder sie die fachdidaktische Innovation von MILQ als nicht zielführend einschätzen. Das wird aus den getätigten Aussagen zu der Subkategorie nicht deutlich, wird aber in den Fallbeschreibungen in einer ganzheitlichen Fallbetrachtung tiefergehend analysiert (vgl. Unterkapitel 8.3).

Viele weitere kritische Aussagen zu MILQ sind so spezifisch und treten zugleich so selten auf, dass sie keiner der vorhandenen Subkategorien zugeordnet werden können (und die Bildung zusätzlicher Subkategorie nicht lohnenswert erschien), weshalb ein Großteil der geäußerten Kritik unter der Subkategorie *o) Sonstiges* zusammengefasst wird:

- „Beim Photoeffekt zum Beispiel gibt es *drei Schaltungen*, die im Dorn-Bader gemacht werden, die man sich klassischer Weise anschaut, weil die alle drei unterschiedliche Dinge leisten, tun und können. Er [Rainer Müller] nimmt *nur eine einzige davon*, die anderen beiden betrachtet er gar nicht, und genau die falsche. Das heißt, für sein, *da im Text, schreibt der über eine Schaltung, die nicht in der Abbildung ist*“ (Schmidt, I1, 246).
- „Wie arbeitet diese Simulation, quantenmechanisch oder klassisch? [. . .] Wie rechnet das Ding? *Wenn ich so eine Simulation habe, dann muss ich doch wissen, wie rechnet dieses?* Was steckt dahinter?“ (Schmidt, I1, 356)
- „Was mir hier jetzt nicht mehr so gut daran gefällt, muss ich ehrlich sagen, das ist diese *Wie-Fragen oder Was-Fragen*. Also das ist ja. Das Problem ist, dass die Schüler hm, in den Klausuren oder immer ja eigentlich die *Operatoren* haben“ (Schneider, SR1, 97).
- „*Wofür sind eigentlich diese Fragen am Ende?* Für die Schüler oder für die Lehrer?“ (Peters, I2, 89)

Diese sehr spezifischen Aussagen liegen u.a. darin begründet, dass sich die Lehrkräfte auf unterschiedliche Elemente von MILQ beziehen. Für eine etwas differenziertere Betrachtung wird diese Subkategorie jedoch – analog zu den allgemeinen Materialnutzungskriterien *3.2 Inhaltliche Materialnutzungskriterien* und *3.3 Formale/pragmatische Materialnutzungskriterien* – in inhaltliche und formale sowie nicht zuzuordnende (allgemeine) Kritikpunkte unterteilt. Ähnlich wie für die allgemeinen Materialnutzungskriterien geben die befragten Lehrkräfte inhaltliche bzw. formale Kritikpunkte mit einer durchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeit von 64 % bzw. 36 % an. Es überwiegen folglich die inhaltlichen Kritikpunkte – nichtsdestotrotz nehmen auch formale Aspekte einen wesentlichen Teil der Einschätzung zu MILQ ein.

An dem nachfolgenden Zitat wird weiterhin deutlich, wie allgemeine Materialnutzungskriterien (in diesem Fall *3.1 Vorstellungen zur Materialnutzung* und *3.3 Formale/pragmatische Kriterien für die Materialnutzung*) Einfluss auf die Rezeption von und den Umgang mit MILQ haben:

„Also, ich glaube, es ist, also es ist ja *ein etwas anderer Zugang als in den Lehrbüchern*. Und ich denke, wenn man sich damit beschäftigt und dieses Münchener Konzept sozusagen für sich akzeptiert und streng danach arbeitet, dann ist das, also, ja, wie soll ich das beschreiben. Also, man kann danach arbeiten. Also, so ist es nicht. *Da es aber für mich ungewohnt ist, das ganze Curriculum so auszuarbeiten, war es natürlich auch insofern auch herausfordernd*, wenn sie, wenn die Frage dahin geht. Weil ich mich jetzt mal neu eindenken müsste. Was wollen die jetzt? Aber eh generell arbeiten kann man danach. [...] Also eine der Fragen war ehrlich gesagt, *muss ich das dann jedes Mal den Schülern kopieren oder kann ich das sozusagen schrittweise, wie die es anbieten, im Buch wiederfinden*“ (Krüger, I2, 52).

Auch andere Lehrkräfte kritisierten den zusätzlichen Kopieraufwand (vgl. Subkategorie 3.3.8), weshalb die betreffenden Personen das Schulbuch bevorzugen. Weitere Zusammenhänge zu den allgemeinen Materialnutzungskriterien werden in den Fallbeschreibungen (Unterkapitel 8.3) herausgearbeitet.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Kritik an MILQ individuell sehr unterschiedlich ausfällt. Im Kanon sind sich die Lehrkräfte jedoch einig, dass MILQ von den Anforderungen her für Schüler*innen zu schwer ist und konkrete Materialien für den Einsatz im Unterricht, wie etwa Texte für Schüler*innen, Formulierungshilfen für Tafelanschriften etc., fehlen. Die Kritik ist unterschiedlich stark ausgeprägt – es liegen einige sehr kritische Aussagen vor, die auf erhebliche Akzeptanzprobleme hinweisen: „Also dieses Kapitel kann man eigentlich direkt so, wie es ist, in den Müll werfen“ (Schmidt, I1, 319).

8.2.5.4. Hohe Qualität des Konzepts

Die relative Nennungshäufigkeit zur Kategorie *4.3.2 Hohe Qualität des Konzepts* variiert pro Person nicht so stark wie bei der Kategorie *4.3.1 Geringe Qualität des Konzepts*. Sie liegt im Schnitt bei 41 %, wobei Leinert mit 89 % die meisten lobenden Äußerungen zu MILQ tätigt und Janssen mit 24 % die wenigsten. Diese Unterschiede können entweder darauf hindeuten, dass einige Lehrkräfte MILQ positiver bewerten als andere, oder, dass einige Lehrkräfte sich intensiver mit MILQ auseinandergesetzt haben und daher eine detailliertere positive Einschätzung geben. Janssen weist unter *4.3.1 Geringe Qualität des Konzepts* von allen Probanden ebenfalls die niedrigste relative Nennungshäufigkeit auf, was ein Indiz dafür ist, dass er sich wenig mit MILQ auseinandergesetzt hat.

Die Aussagen zu 4.3.2 *Hohe Qualität des Konzepts* verteilen sich – ähnlich wie unter 4.3.1 *Geringe Qualität des Konzepts* – über die verschiedenen Subkategorien, wobei ein Großteil Subkategorie *p) Sonstiges* zugeteilt wird (vgl. Abb. 8.26 & 8.27). Dies bestätigt die Vermutung, dass die teilnehmenden Lehrkräfte MILQ individuell sehr unterschiedlich wahrnehmen. Beim Codieren wurde eine Entscheidungsregel zwischen 4.3.2 *Hohe Qualität des Konzepts* und 4.5 *Grad der Umsetzung von MILQ* aufgestellt, sodass im weiteren Verlauf die Befunde beider Kategorien kontrastiert werden können (was im Codiermanual auf Anfrage nachzulesen ist). Dementsprechend beziehen sich die Ausführungen direkt im Anschluss zunächst ausschließlich auf die Rezeption von MILQ.

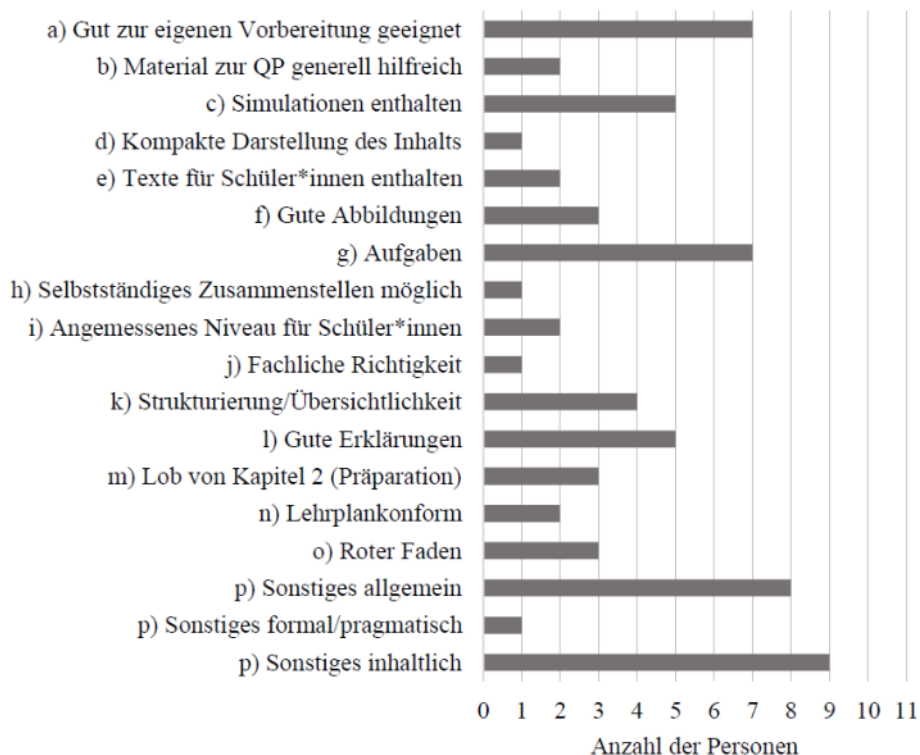


Abbildung 8.26.: Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen gelobten Aspekt von MILQ.

Sieben Lehrkräfte (Peter, Schmidt, Lenz, Schneider, Leinert, Lücking & Meyer) geben an, dass MILQ gut für die Unterrichtsvorbereitung geeignet sei (Subkategorie a). Dieser Gesichtspunkt hat nach der Subkategorie *p) Sonstiges* die meisten Nennungen, obschon die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit mit knapp 4‰ insgesamt niedrig ist. Die meisten Lehrkräfte berichten wenig spezifisch, dass MILQ „so für Ideen und andere Herangehensweisen und Perspektiven [...] ganz gut“ (Meyer, I2, 30) geeignet sei. Manche benennen hingegen konkrete Aspekte, die sie als Anregung hilfreich fanden,

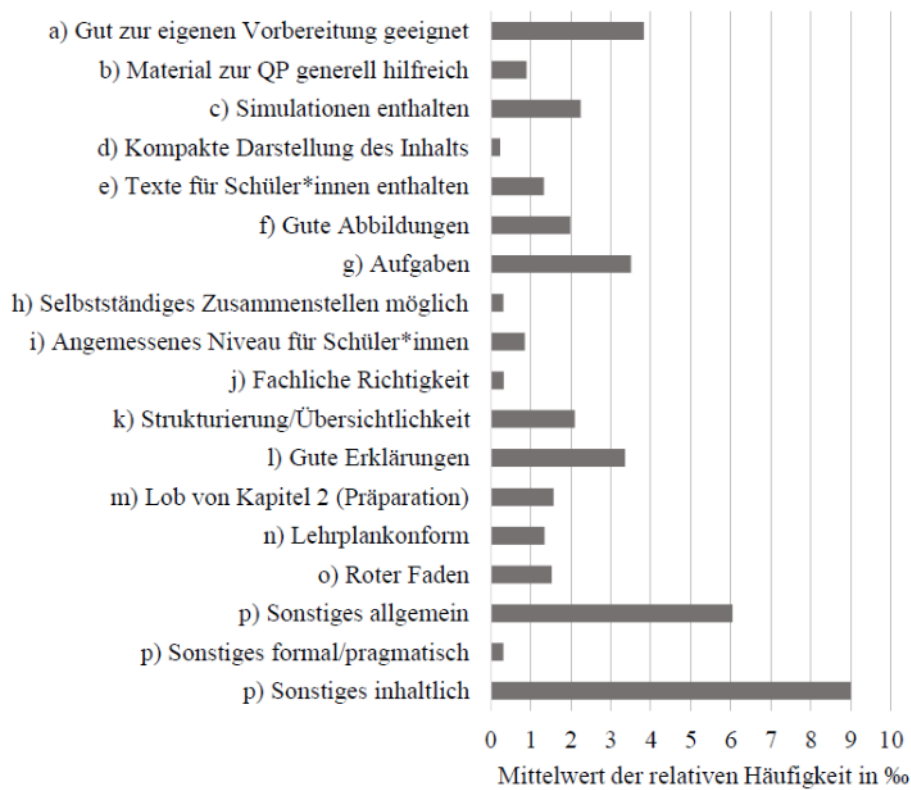


Abbildung 8.27.: Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings pro Person je gelobten Aspekt von MILQ.

z.B. am Doppelspalt Elektronen (Quantenobjekte) und Farbspray (klassische Teilchen) zu kontrastieren (Peters) oder der quantenmechanische Messprozess (Lenz). Darüber hinaus wird aus Leinerts Aussagen deutlich, dass er MILQ zur fachlichen Vorbereitung nutzt, weil er geringe Selbstwirksamkeitserwartungen in Bezug auf die Quantenphysik hat (Subkategorie 5.1).

Allerdings wird die Eignung von MILQ zur Unterrichtsvorbereitung häufig gemeinsam mit der Kritik, dass die Texte in MILQ nicht für Schüler*innen geeignet seien (Subkategorie 4.3.1k & l), geäußert, sodass es sich vermutlich teilweise lediglich um eine sozial erwünschte positive Einschätzung von MILQ handelt.

Die Subkategorie *b) Material zur Quantenphysik generell hilfreich* wird von den Lehrkräften Leinert und Lücking genannt. Beide Lehrkräfte fühlen sich unsicher beim Unterrichten von Quantenphysik (Subkategorie 5.1) und Lücking unterrichtet erst zum dritten Mal Quantenphysik und dabei das erste Mal im Leistungskurs. Vermutlich begrüßen die beiden daher jegliche Unterstützungshilfe für ihre Unterrichtsreihe zur Quantenphysik. Dies könnte sich implementationsförderlich auf die Nutzung von MILQ auswirken.

Weiterhin merken fünf Lehrkräfte (Kruse, Lenz, Leinert, Krüger & Meyer) positiv an, dass MILQ Simulationen enthält (Subkategorie c). Es zeichnete sich bereits unter den allgemeinen Materialnutzungskriterien ab, dass die Bereitstellung digitaler Medien für viele der teilnehmenden Lehrkräfte ein wichtiges Materialnutzungskriterium darstellt (Subkategorie 3.3.4). Es fällt auf, dass Leinert und Meyer als einzige die Simulationen unter einem fachdidaktischen Blickwinkel lobend hervorheben:

„*Elektronen am Doppelspalt* auf jeden Fall. Da gibt es ja auch diese schöne Simulation [aus MILQ] zu, die man dann noch einmal machen kann und sieht, es verhält sich genauso. Wenn wir da Elektronen draufschießen, ehm, ist vielleicht sogar schöner, dann noch einmal als so eine *Elektronenbeugungsröhre*, wo man das zwar sieht, aber auch irgendwie- Was denn jetzt wirklich mit den- Es gibt Beugung an einem Atomgitter, an der Gitterstruktur irgendwie. *Da ist das für den Grundkurs dann als Simulation sicherlich noch einmal anschaulicher*“ (Meyer, II, 116).

Leinert lobt nicht nur die Simulationen an sich, sondern auch deren Einbettung im Konzept. Das erspare ihm Zeit, die Einbettung selber zu leisten (vgl. Subkategorie 2.1.3).

Die kompakte Darstellung des Inhalts (Subkategorie d) wird lediglich von Kruse erwähnt und scheint daher wenig relevant bei der Rezeption von MILQ zu sein. Kruse ist der Meinung, dass einige Textpassagen kurz und knapp formuliert sind, sodass sie gut von Schüler*innen gelesen werden können (vgl. Subkategorie e). Es zeigt sich erneut, wie unterschiedlich verschiedene Lehrkräfte MILQ wahrnehmen, da ein Großteil der Lehrkräfte MILQ als unübersichtlich und zu umfangreich bezeichnet (Subkategorie 4.3.1j) – darunter auch Kruse. Vermutlich bezieht sich Kruse dabei auf andere Teile des Konzepts, sodass diese Zuordnung nicht als widersprüchlich aufzufassen ist. Nichtsdestotrotz demonstriert es, dass die Rezeption auch für eine Person für verschiedene Teile unterschiedlich ausfallen kann.

Weiterhin bewerten es Leinert und Kampe positiv, dass MILQ Texte für Schüler*innen enthält (Subkategorie e). Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit liegt aufgrund der geringen Personenanzahlen bei nur 1%, ist aber für Leinert und Kampe im Schnitt bei 7%, was vergleichsweise hoch ist. Dementsprechend scheint dieser Aspekt den beiden Lehrkräften wichtig zu sein. Diese Einschätzung widerspricht allerdings der Auffassung von Schmidt, Lenz und Lücking, die kritisieren, dass MILQ keine für Schüler*innen geeigneten Texte enthalte (Subkategorie 4.3.1k). Leinert und Kampe beziehen sich, anders als die anderen Lehrkräfte, allerdings nicht auf den gesamten Lehrtext, sondern auf zusätzliche Informationstexte (Leinert), die jedem Kapitel angefügt sind, bzw. auf Hintergrundinformationen zu den Deutungen der Quantenphysik (Kampe). Erneut wird deutlich, dass

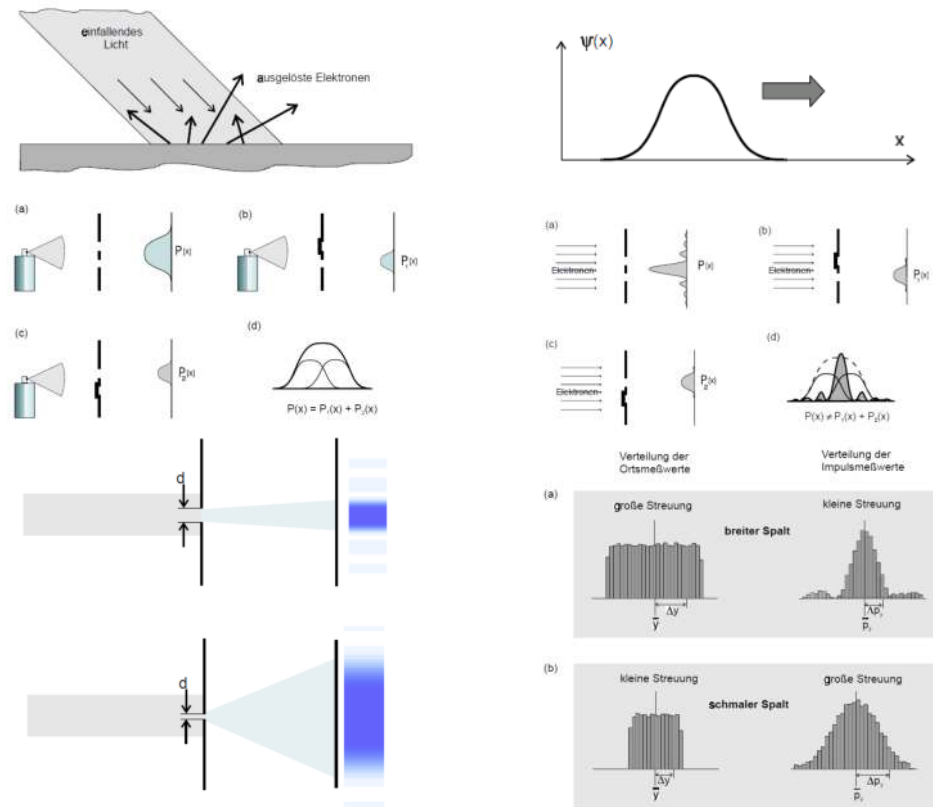


Abbildung 8.28.: Positiv bewertete Abbildungen aus MILQ.

die teilnehmenden Lehrkräfte teilweise zu anderen Einschätzungen in Bezug auf MILQ kommen, die offenkundig durch individuelle Personenmerkmale geprägt sind.

Ferner bewerten die drei Lehrkräfte Peters, Kruse und Schmidt die Abbildungen aus MILQ positiv (Subkategorie f). „[S]chöner als das im [Schul]Buch“ (Schmidt, SR2, 202). Insbesondere Kruse und Schmidt nennen diese Subkategorie mit einer relativen Nennungshäufigkeit von 10 ‰ relativ häufig (Peters: 2 ‰). Dabei beziehen sie sich auf bestimmte Abbildungen (vgl. Abb. 8.28). Vermutlich wird der Blick der betreffenden Lehrkräfte durch ihre verfolgten Ziele (Kategorie 5.3), wie z.B. der Unbestimmtheitsrelation, und ihre behandelten Phänomene (Kategorie 5.4), wie z.B. dem Doppelspalt-Experiment, gelenkt.

Weiterhin finden sieben Lehrkräfte (Peters, Kruse, Schmidt, Schneider, Leinert, Lücking & Kampe) die in MILQ enthaltenen Aufgaben (Subkategorie g) gut. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit fällt mit 3 ‰ im Vergleich zu den anderen Subkategorien dieser Kategorie eher hoch aus. Der hohe Stellenwert von Aufgaben für die befragten Lehrkräfte zeigte sich bereits in Bezug auf die allgemeinen Materialnutzungskriterien (vgl.

Subkategorie 3.2.5). Besonders gelobt werden die beiden Arbeitsblätter zum Photoeffekt, worauf qualitative Fragen zum Photoeffekt bzw. die quantitative Auswertung der Gegenfeldmethode behandelt werden. Ähnlich wie unter 3.2.5 *Gutes Angebot an Aufgaben* werden jedoch kaum Kriterien oder Gründe genannt, woran die betreffenden Lehrkräfte festmachen, dass sie die Aufgaben als gut geeignet für ihre Schüler*innen einschätzen. Erneut stellt sich die Frage, ob die jeweiligen Lehrkräfte automatisiert Analyse Kriterien anlegen und lediglich nicht verbalisieren oder ob nur eine oberflächliche bzw. subjektive Auseinandersetzung mit den Aufgaben stattfand.

Zumindest für Peters und Schneider scheint eher letzteres zu zutreffen. Denn Peters gibt an, die Aufgaben zum Doppelspalt für seinen nächsten Leistungskurs einsetzen zu wollen, obgleich er sie gar nicht durchgelesen hat. Schneider hingegen nennt als Grund für ihre positive Einschätzung, dass auf dem Arbeitsblatt für die quantitative Auswertung des Photoeffekts Platz für Eintragungen der Schüler*innen ist. Es kann zwar nicht ausgeschlossen werden, dass Schneider noch weitere Kriterien bei der Beurteilung des Arbeitsblatts anlegte, aber inhaltliche Qualitätsmerkmale scheinen für sie zumindest nicht im Fokus zu stehen.

Schmidt und Kampe beurteilen die Aufgaben im Gegensatz dazu wesentlich analytischer. Schmidt ist bspw. der Meinung, dass das Arbeitsblatt mit den qualitativen Fragen zum Photoeffekt gut dafür geeignet sei, die Schüler*innen reflektieren zu lassen, inwieweit sie den Photoeffekt verstanden haben. Weiterhin sagt Kampe über die Aufgaben zur Interpretation der Quantenphysik, dass diese „ganz spannend formuliert [seien] [...], wo die Schüler zum Denken angeregt“ (Kampe, I2, 37) würden.

Schneider erwähnt ferner, dass sie es positiv bewertet, dass ein selbstständiges Zusammenstellen von Elementen aus MILQ möglich ist (Subkategorie h). Da sie die einzige Lehrkraft ist, die diesen Aspekt anführt, scheint es sich um keine typische Einschätzung von MILQ zu handeln. Diese Einschätzung ist dennoch von Interesse, da sich darin Schneiders Vorstellungen zur Materialnutzung, Materialien in das eigene Vorgehen zu integrieren (Subkategorie 3.1.6), konkretisieren. Es ist unklar, inwiefern bei einer solchen Einschätzung das Innovationspotential von MILQ zum Tragen kommen kann, da die Sachstruktur den Kern der didaktischen Strukturierung und somit der Innovation bildet. Insofern entspricht Schneiders Einschätzung nicht dem intendierten Gebrauch von MILQ.

Weiterhin finden zwei Lehrkräfte (Kruse & Schmidt) das Anforderungsniveau von MILQ für Schüler*innen angemessen (Subkategorie i). Beide Lehrkräfte nennen allerdings auch unter 4.3.1 *Geringe Qualität des Konzepts*, dass das Anforderungsniveau in MILQ für Schüler*innen nicht angemessen wäre (Subkategorie l). Es handelt sich insofern um keinen Widerspruch, da sich die betreffenden Lehrkräfte jeweils auf unterschiedliche Elemente von

MILQ beziehen. Kruse und Schmidt stufen Elemente, die für den Einsatz im Unterricht gedacht sind (Arbeitsblätter, Infotexte und Herleitungen von Formeln), vom Niveau her als angemessen für Schüler*innen ein. Den Lehrtext im Allgemeinen finden sie hingegen für Schüler*innen zu anspruchsvoll.

Der Subkategorie *j) Fachliche Richtigkeit* wird nur Lenz zugeordnet. Aus ihren Aussagen wird allerdings deutlich, dass dieser Aspekt für sie bei der Beurteilung von MILQ nicht im Fokus steht. Nichtsdestotrotz ist es bemerkenswert, wie unterschiedlich die Beurteilungen von MILQ ausfallen, da unter *4.3.1 Geringe Qualität des Konzepts* Kruse und Schmidt die fachliche Richtigkeit von MILQ infrage stellen und kritisieren (Subkategorie 4.3.1h).

Die Subkategorie *k) Strukturierung/Übersichtlichkeit* wird von den vier Lehrkräften Kruse, Schneider, Leinert und Lücking als Lob angeführt. Dabei beziehen sich die betreffenden Lehrkräfte auf MILQ als Ganzes – insbesondere heben sie den Aufbau als strukturiert und nachvollziehbar hervor. Unter der Kategorie *4.3.1 Geringe Qualität des Konzepts* wird allerdings die Übersichtlichkeit von MILQ auch von einigen Lehrkräften kritisiert (Subkategorie 4.3.1j) – hierbei wird, wie zuvor berichtet, zwar vor allem Bezug auf die mangelnde Übersichtlichkeit aufgrund des Umfangs genommen, weshalb es sich nicht um per se gegensätzliche Einschätzungen handelt. Nichtsdestotrotz fällt erneut auf, wie unterschiedlich verschiedene Personen MILQ wahrnehmen.

Darüber hinaus loben die fünf Lehrkräfte Kruse, Schmidt, Peters, Leinert und Kampe, dass MILQ gute Erklärungen (Subkategorie l) beinhaltet. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit fällt im Vergleich zu anderen Subkategorien eher hoch aus. Das Lob bezieht sich jeweils auf ganz konkrete Erklärungen, die allerdings für die betreffenden Lehrkräfte unterschiedlich sind. Kruse lobt die bereitgestellten Infotexte, wohingegen Schmidt die Erklärtexte zur Präparation (vgl. Subkategorie m), zur Schrödinger-Gleichung und zur Unbestimmtheitsrelation als gelungen bewertet. „Das ist schöner als das, was im [Schul-]Buch ist“ (Schmidt, SR2, 194). Leinert hebt hingegen die Erläuterung zur Elektronenbeugungsröhre und zu Schrödingers Katze hervor. Peters lobt ferner den Text zur Welcher-Weg-Information beim Interferometer und Kampe die Erläuterungen zum Welle-Teilchen-Dualismus.

Dies unterstützt die Vermutung, dass die verfolgten Unterrichtsziele (Kategorie 5.3) und Phänomene (Kategorie 5.4) die Perspektive auf MILQ formen, da Schmidt nach eigenen Angaben die Schrödinger-Gleichung im Unterricht behandelt, Peters das Interferometer durchführt und Leinert auf Schrödingers Katze eingeht. Das bedeutet zwar nicht unbedingt, dass die jeweiligen Lehrkräfte die genannten Erklärtexte auch im Unterricht einsetzen, illustriert jedoch den Wahrnehmungsfiter auf MILQ.

Kruse und Schmidt begründen ihr Lob der Erklärtexte mit der Subkategorie *i) Angemessenes Niveau für Schüler*innen*. Bei den anderen Lehr-

kräften ist nicht ersichtlich, inwieweit sie sich bei ihrer Einschätzung auf eine Eignung für Schüler*innen beziehen oder aus ihrer eigenen Perspektive argumentieren.

Drei Lehrkräfte (Peters, Schmidt & Leinert) loben darüber hinaus *m) Lob an Kapitel 2 (Präparation)*:

„Die Präparation habe ich mir mal durchgelesen, *war ganz interessant, einfach mal darauf nochmal gestoßen zu sein, was Präparation eigentlich bedeutet*. Und das habe ich mir auch eigentlich so nie darüber nachgedacht, was dieses Präparieren bedeutet“ (Peters, I1, 132).

Diese Einschätzung kann als implementationsförderlich für MILQ gewertet werden, da dieses Kapitel im Sinne von Begriffsbildung eine vorbeugende Maßnahme gegen die Verfestigung typischer Schülervorstellungen und somit ein Kernstück der fachdidaktischen Innovation von MILQ darstellt. Interessant ist, dass die Intention des Kapitels ein schülerorientierter Unterricht bildet, aber die Vorstellungen zum Lehren und Lernen von Peters und Schmidt als fachlich orientiert und eher weniger pädagogisch orientiert eingestuft wurden. Ihre Äußerungen zu diesem Aspekt lassen sich so deuten, dass sie sich für den Präparationsbegriff eher aus einer fachlichen Perspektive als aus einer lernlogischen Sichtweise interessieren. Leinert äußert sich nur sehr allgemein, sodass daraus keine weiteren Schlussfolgerungen über die Gründe seiner positiven Einschätzung gezogen werden können.

Weiterhin führen zwei Lehrkräfte (Kruse & Janssen) positiv an, dass MILQ lehrplankonform (Subkategorie n) ist. Das ist insofern bezeichnend, als dass unter *4.3.1 Geringe Qualität des Konzepts* sechs Lehrkräfte (darunter auch Kruse) kritisieren, dass MILQ nicht immer lehrplankonform sei (Subkategorie 4.3.1m). Das ist nicht unbedingt als widersprüchlich zu verstehen, da Kruse und Janssen angeben, dass alle lehrplanrelevanten Themen in MILQ abgedeckt würden, MILQ aber in einigen Inhaltsbereichen über die Lehrplanvorgaben hinausgehe. Nichtsdestotrotz ist es interessant, dass einige Personen dies wohlwollend und andere kritisch bewerten.

Ferner wird die Subkategorie *o) Roter Faden* von den Lehrkräften Schmidt, Lücking und Meyer lobend genannt, wobei die getätigten Aussagen allgemeiner Art sind und nicht benannt wird, woran die betreffenden Lehrkräfte einen roten Faden bzw. eine logische Reihenfolge festmachen. Meyer kontrastiert weiterhin die Themenabfolge in MILQ mit den Vorgaben aus dem Lehrplan (Subkategorie 2.2.2):

„Und da halt, ist es, finde ich, die *Herangehensweise sinnvoll*. Weil man halt dann konsistent das sich an dem erarbeitet. Auch eine konsistente fachdidaktische, fachsystematische Vorstellung dahinter hat. *Nur das passt halt nicht zum Grundkurs, der halt wirklich eher so „Jetzt gucken wir mal hier hin und*

jetzt gucken wir mal da hin und dann dahin“ und am Ende gibt sich dann so ein schönes Netz“ (Meyer, I2, 108).

Anscheinend interpretiert Meyer die Betonung der 25 Schlüsselexperimente im Lehrplan (KLP NRW, 2014) so, dass im Grundkurs der Erwerb eines konsistenten Konzeptverständnisses nicht im Fokus steht.

Lobende Aussagen zu MILQ, die unter *p) Sonstiges* zugeordnet werden, werden unterschieden in inhaltliche und formale Aspekte (9 ‰ bzw. < 1 ‰). Weitere 6 ‰ konnten aufgrund ihrer Allgemeinheit nicht weiter zugeordnet werden:

- „Das war irgendwie interessant“ (Peters, SR2, 103).
- „Die Ziele sind toll“ (Lenz, I2, 69).
- „Das ist gut aufgearbeitet“ (Krüger, I1, 141).

Aufgrund der Häufigkeit solch unspezifischer Aussagen stellt sich die Frage, ob der Beurteilungsprozess automatisiert abläuft (vgl. Abschnitt 2.2.3) oder ob es sich um einen oberflächlichen Auseinandersetzungsprozess handelt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass mehrere Lehrkräfte MILQ durchaus positiv gegenüberstehen:

- „Dieser Ordner, der ist total super“ (Schneider, I2, 138).
- „Um Unterricht vorzubereiten, ist es gut geeignet“ (Schmidt, SR2, 198).
- „Also so für Ideen und andere Herangehensweisen und Perspektiven ist das ganz gut“ (Meyer, I2, 30).

Einige Lehrkräfte erwecken den Eindruck, sich wenig analytisch und primär intuitiv mit MILQ auseinanderzusetzen. Darüber hinaus geht keine der befragten Lehrkräfte auf die empirische Evaluation von MILQ ein und zieht daraus Rückschlüsse auf die Qualität des Konzepts. Das ist hinsichtlich der Legitimation materialgestützter Unterrichtskonzeptionen und deren Wirkung auf Unterricht als wichtige Beobachtung zu bewerten.

8.2.5.5. Nicht genutzte Elemente

Die Kategorie *4.4 Nicht genutzte Elemente* erfasst nicht vollständig, welche Elemente aus MILQ die teilnehmenden Lehrkräfte nicht genutzt haben, da die Lehrkräfte in der Regel berichten, was genutzt wird, und nicht, was nicht genutzt wird. Umso aufschlussreicher ist es jedoch, wenn Lehrkräfte explizit benennen, was sie aus MILQ nicht verwendet haben (und warum).

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass *keine Nutzung* nicht synonym mit *keine Umsetzung* verwendet wird, sondern sich der Fokus auf die Auseinandersetzung mit MILQ richtet (was augenscheinlich keine Umsetzung

als Folge hat, aber nicht zwangsläufig umgekehrt gilt). Aufgrund der insgesamt gering ausfallenden durchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeit wird auf deren graphische Darstellung verzichtet und lediglich die Personenanzahl je Subkategorie abgebildet (vgl. Abb. 8.29).

Drei Lehrkräfte (Peters, Lücking & Kampe) geben an, den Artikel aus der Zeitschrift *Praxis der Naturwissenschaften* (Subkategorie 4.4.1), der dem eigentlichen Unterrichtskonzept im Materialordner vorgeschaltet ist, nicht gelesen zu haben. Das ist insofern bezeichnend, als dass es sich hierbei um das einzige Element aus MILQ handelt, in dem explizit die Ziele, das Innovationspotential sowie die Wirksamkeitsbelege der Evaluationsstudie von MILQ vorgestellt werden. Da Kampe berichtet, MILQ aus dem Studium zu kennen, überspringt er den Artikel möglicherweise, weil ihm die Inhalte bereits bekannt sind. Peters und Lücking kennen MILQ hingegen noch nicht, insofern ist es fraglich, inwieweit sie ohne Lesen des Artikels die Ziele und Intentionen von MILQ sich selber erschließen (können). Es deutet sich an, dass das Überspringen des einleitenden Artikels auf ein pragmatisches Verhalten (vgl. Subkategorie 2.1.3) zurückzuführen ist und der Schwerpunkt bei der Auseinandersetzung mit MILQ auf Elementen für den Einsatz im Unterricht liegt.

Weiterhin gibt Peters an, sich nicht mit dem Aufbaukurs beschäftigt zu haben (Subkategorie 4.4.2). Da Peters einen Grundkurs unterrichtet und der Aufbaukurs für die Erarbeitung im Leistungskurs gedacht ist, kann dieses Verhalten als erwartungskonform eingestuft werden.

Darüber hinaus gibt Peters allerdings im Einstiegsinterview an, von MILQ lediglich die ersten beiden Kapitel gelesen zu haben (Subkategorie 4.4.3). Es bleibt offen, inwieweit Peters sich mit den restlichen Kapiteln von MILQ zu einem späteren Zeitpunkt auseinandergesetzt hat, es kann aber in jedem Fall daraus geschlossen werden, dass Peters zumindest die Planung der Unterrichtsreihe somit nicht in Anlehnung an MILQ vornahm, da diese zum Zeitpunkt des Einstiegsinterviews bereits abgeschlossen war. Für die Imple-

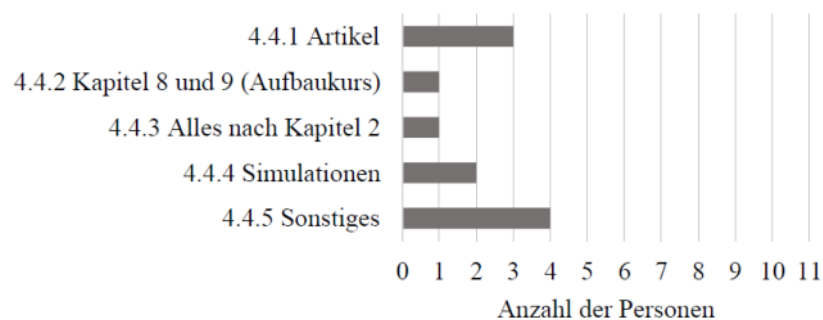


Abbildung 8.29.: Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen nicht genutzten Element aus MILQ.

mentierung einer fachdidaktisch innovativen Sachstruktur ist dieses Verhalten folglich implementationshinderlich.

Darüber hinaus geben Peters und Schmidt an, die Simulationen aus MILQ nicht betrachtet zu haben (Subkategorie 4.4.4). Dies überrascht vor dem Hintergrund, dass beide beklagen, dass es nur wenig Schülerversuche für die Oberstufe (Subkategorie 2.2.7) gibt, und Peters zudem sagt, dass kaum Experimente zur Quantenphysik in der Schule zu realisieren seien (Subkategorie 2.2.8). Nichtsdestotrotz scheinen sie Simulationen grundsätzlich abzulehnen, da diese anders als ein Realexperiment nicht per se die Wirklichkeit abbilden:

B: „Nein, da bin ich kein Fan von [Simulationen]. Ja, das ist, wie gesagt, *es kommt das raus, was man reinsteckt, bei einer Simulation*, ne. Und ob das wirklich die Natur/“

I: „Die Schüler hinterfragen es wahrscheinlich gar nicht, aber eigentlich sollen sie ja genau/“

B: „Ich mag sie nicht, weil ich ja aus der Experimentalphysik komme, dann muss es, sollte man auch das Experiment machen. *Ich kann meine Experimente, die ich später mache, auch nicht simulieren*“ (Peters, I2, 122ff.).

Bei diesem Zitat wird sehr deutlich, dass Peters nach wie vor Experimente aus der Perspektive eines Experimentalphysikers betrachtet und daher Experimenten im Unterricht ebenfalls ausschließlich die Funktion des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnes in der Experimentalphysik zuweist, aber andere Funktionen zur Unterstützung des Lernprozesses oder auch des Erkenntnisgewinnes in der Theoretischen Physik außer acht lässt (vgl. Wiesner, Schecker & Hopf, 2011). Augenscheinlich hat der Werdegang von Peters (und vermutlich ebenfalls von Schmidt) als Quereinsteiger Einfluss auf seine Materialrezeption.

Weiterhin können Aussagen von Peters, Kruse, Janssen und Kampe nicht näher klassifiziert werden (Subkategorie 4.4.5 *Sonstiges*). Es wird aber deutlich, dass – insbesondere zum Zeitpunkt des Einstiegsinterviews – sich mehrere Lehrkräfte (noch) nicht sehr intensiv mit MILQ auseinandergesetzt haben, sondern lediglich im Materialordner geblättertet haben. Folglich wurde MILQ zumindest für die Reihenplanung der betreffenden Lehrkräfte wenig bis kaum zurate gezogen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich mehrere Lehrkräfte mit entscheidenden Elementen aus MILQ wie dem einleitenden Artikel oder dem Kapitel zur Präparation nicht auseinandersetzen. Weiterhin geben mehrere Lehrkräfte an, zum Zeitpunkt des Einstiegsinterviews sich nur mit Teilen von MILQ auseinandergesetzt zu haben. Dieses Verhalten ist offenkundig für die Implementierung von MILQ implementationshemmend, da zum einen fraglich ist, inwieweit die betreffenden Lehrkräfte auf dieser Basis die fachdi-

daktische Innovation und die Ziele von MILQ erkennen (können), und zum anderen zumindest die Reihenplanung nicht in Orientierung an MILQ erfolgt. Insgesamt sticht Peters bei mehreren Subkategorien unter *4.4 Nicht genutzte Elemente* von den übrigen Probanden hervor, worauf in der Fallbeschreibung im Unterkapitel 8.3 näher eingegangen wird.

8.2.5.6. Grad der Umsetzung von MILQ

Die meisten Subkategorien der Kategorie *4.5 Grad der Umsetzung von MILQ* werden von einem Großteil der Stichprobe angegeben, allerdings zeichnen sich erneut individuelle Unterschiede ab (vgl. Abb. 8.30), die vermutlich auf die unterschiedliche Rezeption zurückzuführen sind. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit fällt für mehrere Subkategorien recht hoch aus, allerdings hebt sich die Subkategorie *4.5.6 Entnehmen einzelner Elemente* deutlich von den anderen Subkategorien ab (vgl. Abb. 8.31). Das ist u.a. damit zu erklären, dass es sich um eine Sammelkategorie handelt, die häufig mit anderen Subkategorien doppelt codiert wird. Im Folgenden werden die Befunde zu den einzelnen Subkategorien genauer vorgestellt und Vergleiche mit den Befunden zur Rezeption von MILQ hergestellt.

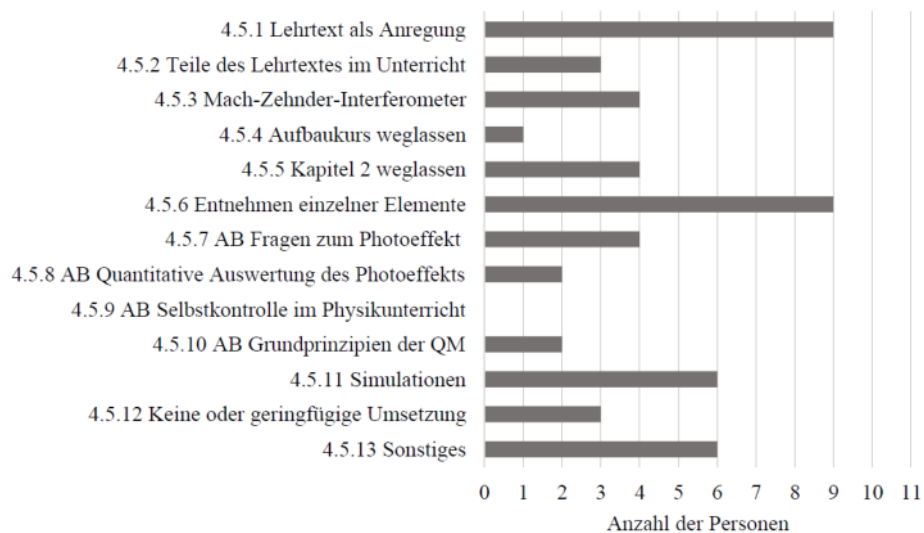


Abbildung 8.30.: Anzahl der Personen je genutztem Element aus MILQ.

Nach Angaben der befragten Lehrkräfte nutzen neun von ihnen (alle außer Janssen & Kampe) den Lehrtext aus MILQ als Anregung in der Unterrichtsvorbereitung (Subkategorie 4.5.1). Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit ist für diese Subkategorie am zweithöchsten. Es kann also angenommen werden, dass diese Art der Nutzung von MILQ vergleichsweise häufig vorkommt. Dies entspricht auch der Einschätzung unter *4.3.2 Hohe*

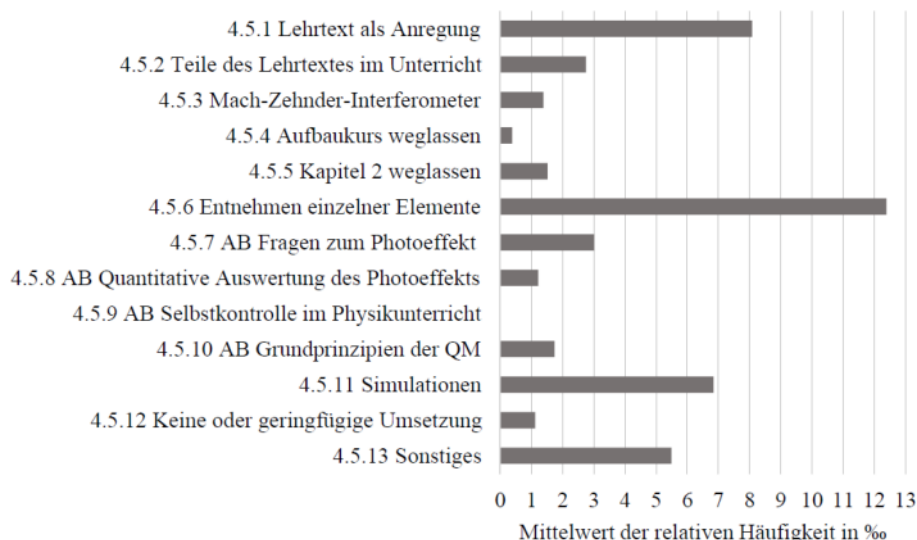


Abbildung 8.31.: Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings pro Person je genutztem Element aus MILQ.

Qualität des Konzepts, dass MILQ gut zur eigenen Vorbereitung geeignet sei.

Dabei beziehen sich die betreffenden Lehrkräfte allerdings auf unterschiedliche Themenbereiche, oftmals im Zusammenhang mit einem (Gedanken-)Experiment (Gegenüberstellung von Wellen- und Teilchenverhalten für den Hallwachs-Versuch, Präparation dynamischer Eigenschaften sowie Behandlung der Unbestimmtheitsrelation am Doppelspalt). Teilweise wird der Lehrtext für die fachliche Weiterbildung genutzt (vgl. Subkategorie 4.3.2a): „Hat mir nochmal Einblicke gegeben und hat mir auch noch mal einiges klargestellt“ (Lenz, I2, 65). Diese Art der Nutzung geht jedoch oftmals mit der Kritik an MILQ einher, dass das Anforderungsniveau von MILQ für Schüler*innen nicht angemessen ist (Subkategorie 4.3.1l) bzw. Texte für Schüler*innen fehlen (Subkategorie 4.3.1k).

Der Grad der Orientierung am Lehrtext kann in vielen Fällen nicht genauer bestimmt werden: „Also hier hatte ich mich dann auch durchaus, ja, inspirieren lassen, kann man sagen“ (Lücking, SR1, 96). Teilweise wirkt es sogar so, als wenn die betreffenden Lehrkräfte ihr eigenes Vorgehen retrospektiv mit MILQ vergleichen, ohne dass MILQ als Vorlage dazu gedient hätte: „Genau, das haben wir nämlich auch im Prinzip gemacht“ (Schneider, I2, 117). Aufgrund der vielfältigen Möglichkeiten der Inspiration durch den Lehrtext ist es also eher verwunderlich, dass bei zwei Lehrkräften (Jansen & Kampe) gar keine Aussagen zur Nutzung des Lehrtexts als Anregung gefunden wurden.

Die Subkategorie *4.5.2 Teile des Lehrtextes im Unterricht* wird den drei Lehrkräften Kruse, Schmidt und Krüger zugeordnet. Insbesondere Kruse fällt mit einer hohen relativen Nennungshäufigkeit von 20 ‰ im Vergleich zum Mittelwert von 3 ‰ auf. Bei Kampe bleibt es lediglich bei hypothetischen Aussagen, sodass unklar ist, inwieweit er tatsächlich Teile des Lehrtextes seinen Schüler*innen zur Verfügung gestellt hat.

Die drei Lehrkräfte Kruse, Schmidt und Krüger kopieren Auszüge aus dem Lehrtext und reichen sie den Schüler*innen. Der zusätzliche Kopieraufwand war offensichtlich kein Hinderungsgrund, obschon Kruse und Krüger der Subkategorie *3.3.2 Geringer Kopieraufwand* zugeordnet wurden. Hierbei beziehen sich die Lehrkräfte auf die folgenden Textauszüge:

- Die Bedeutung von Wahrscheinlichkeitsaussagen in der Quantenphysik beim Doppelspaltversuch (Schmidt & Kruse)
- Die Quantisierung der Energie im Franck-Hertz-Versuch (Schmidt & Kruse)
- Die Deutung des Photoeffekts (Kruse)
- Die Wellenlänge von Elektronen (Kruse)
- Die quantitative Auswertung der Elektronenbeugungsröhre (Kruse)
- Die quantitative Formulierung der Unbestimmtheitsrelation für den Einzelspalt (Schmidt)
- Der dreidimensionale Potentialtopf und Atomorbitale (Schmidt)
- Das Wasserstoff-Atom (Schmidt)
- Die Präparation dynamischer Eigenschaften (Krüger)

Das Anforderungsniveau dieser Textauszüge schätzen die jeweiligen Lehrkräfte als angemessen für die Schüler*innen ein (Subkategorie 4.3.2i), wobei Schmidt berichtet, die Textauszüge nur zur Binnendifferenzierung für die leistungstärkeren Schüler*innen einzusetzen. Krüger kopiert den Schüler*innen zwar das Kapitel zur Präparation dynamischer Eigenschaften als Anregung, bespricht es allerdings nach eigenen Angaben aufgrund der knappen Unterrichtszeit nicht (Subkategorie 2.2.9).

Die ausgewählten Themenbereiche unterstützen die betreffenden Lehrkräfte in den von ihnen verfolgten Unterrichtszielen (Kategorie 5.3) und behandelten Phänomenen (Kategorie 5.4). Erneut zeigt sich, dass die Lehrkräfte unterschiedliche Schwerpunkte setzen und u.a. daraus Unterschiede in der Materialnutzung resultieren. Insbesondere bei Kruse zeichnet sich als Motiv

für den Einsatz von Textausschnitten aus MILQ im Unterricht eine schüleraktivierende Haltung ab (Subkategorie 1.1):

„Warum ich das eingesetzt habe? Ja, weil ich ehm, zum einen auch, sonst, zu einem eh, die Möglichkeiten bei diesem Thema, *dass Schüler selbst etwas erarbeiten und selbstständig erarbeiten*, sind ja nicht so sehr groß hier. [...] Das ist ja auch *sehr lehrervortraglastig* letzten Endes, ja. Und da sah ich einfach die Möglichkeit, dass sie hier zum einen etwas Überschaubares selber sich, es ist ja ein Grundkurs, sich selber ehm schon einmal erarbeiten“ (Kruse, SR1, 97).

Unter 4.3.2 *Hohe Qualität des Konzepts* lobt zwar Leinert ebenfalls, dass MILQ geeignete Texte für Schüler*innen enthalte (Subkategorie e), was er jedoch nicht umzusetzen scheint. Die Gründe hierfür benennt er nicht.

Weiterhin planen die vier Lehrkräfte Kruse, Lenz, Schneider und Meyer, das Mach-Zehnder-Interferometer (Subkategorie 4.5.3) im Unterricht umzusetzen. Kruse kommt dann doch nicht dazu und Schneider und Meyer besprechen nur das Phänomen im Unterricht, ohne das dazugehörige Experiment durchzuführen. Lenz gibt hingegen an, sich für die Behandlung des Mach-Zehnder-Interferometers eine Doppelstunde Zeit genommen und auch die Simulation aus MILQ dazu (vgl. Subkategorie 4.5.11) durchgeführt zu haben. Hierbei zeigt sich ebenfalls ein Zusammenhang mit den curricular gelegten Schwerpunkten der jeweiligen Lehrkräfte (vgl. Kategorie 5.3 & 5.4). Lenz ergänzt, dass das Mach-Zehnder-Interferometer für sie als Lehrkraft eine wichtige Anregung für das Unterrichten von Quantenphysik war:

„Das ist mein erster Physik-LK. Also das hat schon ehm, dadurch, dass man das auch noch mal gesehen hat ehm, auch komprimiert, *also als Erinnerung für Lehrer und um nochmal zu gucken, wie geht das*. Ehm, auch gerade diese Idee mit dem Interferometer, das so aufzubauen. *Das hat mir auf jeden Fall noch mal neue Ideen gegeben, wie man die Knackpunkte der Quantenmechanik den Schülern nochmal näherbringt*“ (Lenz, I2, 67).

Offensichtlich konnte Lenz MILQ an dieser Stelle weiterbildend nutzen.

Die Subkategorie 4.5.4 *Aufbaukurs weglassen* wird nur von Krüger genannt. Es ist zu vermuten, dass diese Subkategorie auf die meisten der teilnehmenden Lehrkräfte zutrifft, allerdings lediglich von Krüger explizit benannt wird. Krügers Einschätzung des Aufbaukurses ist allerdings bezeichnend vor dem Hintergrund, dass der Aufbaukurs für Leistungskurse entwickelt wurde und Krüger einen Leistungskurs unterrichtet:

„Ich habe mir das angeguckt. *Sehr mathematisiert* dann dahinten, glaube ich. Ja, *das kann ich mit denen [gemeint sind die Schüler*innen] nicht machen*. Das hat überhaupt keinen Sinn“ (Krüger, I2, 36).

Vier Lehrkräfte (Kruse, Schneider, Leinert & Krüger) äußern explizit, dass Kapitel zur Präparation nicht im Unterricht behandelt zu haben (Subkategorie 4.5.5) (wobei Krüger allerdings, wie zuvor berichtet, den dazugehörigen Text seinen Schüler*innen kopiert und zur Verfügung gestellt hat). Leinert lobt zwar das Kapitel zur Präparation (Subkategorie 4.3.2m), lässt es aber im Unterricht weg – vermutlich, weil ihm nicht ausreichend Unterrichtszeit zur Verfügung steht (Subkategorie 2.2.9). Kruse und Lenz kritisierten hingegen das Kapitel (Subkategorie 4.3.1n), weshalb zu vermuten ist, dass auch Lenz das Kapitel nicht im Unterricht umsetzt (und es lediglich nicht explizit äußert). Es ist fraglich, inwieweit das fachdidaktische Innovationspotential von MILQ ohne dieses Kernelement der Innovation ausgeschöpft werden kann.

Die Subkategorie *4.5.6 Entnehmen einzelner Elemente* wird neun Lehrkräften (allen außer Lenz & Janssen) zugeordnet. Überdies handelt es sich nach der durchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeit um die mit Abstand am häufigsten genannte Subkategorie. Das Entnehmen einzelner Elemente scheint also für den Großteil der teilnehmenden Lehrkräfte die typische Umsetzungsstrategie von MILQ darzustellen. Anhand der folgenden Aussagen wird deutlich, dass die betreffenden Lehrkräfte nicht auf das MILQ zugrundeliegende Konzept, sondern gezielt auf einzelne Elemente für ihren Unterricht zurückgreifen:

- „Genau, also ich bin halt vorher diesen Ordner durchgegangen und *habe geschaut, was kann ich davon brauchen*“ (Leinert, I2, 36).
- „Also ich suche jetzt schon die Sachen mir auch raus, wo ich dann denke, das passt gut rein“ (Kruse SR1, 143).
- „Ich habe effektiv *vier Seiten von dem ganzen Skript* genutzt“ (Schmidt, I2, 109).
- „Man liest ja *nicht alles im Detail* durch, sondern man guckt, *welche Stellen könnten passen?* Und man guckt sich die mal genauer an“ (Kampe, I2, 66).

Es werden teilweise ganz ähnliche Verhaltensweisen wie unter *3.1 Vorstellungen zur Materialnutzung* (die Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen und eine modulare Nutzung) deutlich (wobei die zitierten Lehrkräfte Kruse, Schmidt und Leinert lediglich der Subkategorie *3.1.6 Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen bzw. Stil* zugeordnet wurden).

Als Gründe für die modulare Nutzung von MILQ werden der als zu umfangreich wahrgenommene Lehrtext (Subkategorie 4.3.1j) und die teilweise mangelnde Lehrplankongruenz (4.3.1m) angegeben. Umgesetzt werden Anregungen bzw. Textauszüge (Subkategorien 4.5.1 & 4.5.2), Arbeitsblätter

(Subkategorien 4.5.7 - 4.5.10), Simulationen (Subkategorie 4.5.11) und Abbildungen. Vermutlich wird auf diese Weise die fachdidaktische Innovation von MILQ nicht (vollständig) umgesetzt. Dies wird ausführlicher in den Fallbeschreibungen (Unterkapitel 8.3) und bei der Rekonstruktion des Nutzungsverhaltens von MILQ (Unterkapitel 8.5) diskutiert.

Weiterhin wird das Arbeitsblatt *Fragen zum Photoeffekt* (Subkategorie 4.5.7) von vier Lehrkräften (Kruse, Schneider, Krüger & Lücking) verwendet. Kruse und Schneider sind der Meinung, dass das Arbeitsblatt eine gute Möglichkeit bietet, das, was man vorher im Unterrichtsgespräch erarbeitet hat, nochmal als Sicherung zusammenzufassen. Beide sind der Meinung, dass die Schüler*innen mithilfe des Arbeitsblattes gut selber lernen und sich auf die Klausur vorbereiten können. Die Prüfungsvorbereitung scheint dabei als externe Randbedingung (Subkategorie 2.2.3) die Materialnutzung zu rahmen. Weiterhin wird aus Kruses nachfolgender Äußerung ihre didaktische Innovationsbereitschaft deutlich (Subkategorie 2.1.1):

I: „Okay, ja und dann hattest du ja auch das Arbeitsblatt, wir haben es uns eben ja schon angeguckt, mit den Fragen zum Photoeffekt. Ja, und das würde mich natürlich jetzt auch noch einmal interessieren, *warum hast du dich dafür entschieden? Was hat dir gut gefallen?*“

B: „Ja, dafür habe ich mich entschieden, weil ich das ja nun ausprobieren möchte. [...] Manchmal ist es ja auch so, *dass man selber vielleicht was gar nicht gut findet, was aber, womit die Schüler aber sehr gut zurechtkommen*“ (Kruse, SR1, 81).

Offenbar möchte Kruse sich nicht nur auf Grundlage ihrer eigenen Einschätzung, sondern auch auf der Grundlage der Reaktionen der Schüler*innen ihre finale Meinung zu MILQ bilden und zeigt daher eine hohe Bereitschaft, MILQ im Unterricht auszuprobieren. Weiterhin konkretisiert sich in dem Einsatz des Arbeitsblattes die pädagogisch orientierte Grundposition von Kruse und Schneider (vgl. Abschnitt 8.2.4). Kruse merkt dazu nur an, dass sie „hier und da umformulieren“ (Kruse, SR1, 87) würde, wobei sie als Grund lediglich nennt, dass es nicht ihren eigenen Formulierungen entspricht, dies aber nicht weiter ausführt. Obschon Schmidt das Arbeitsblatt lobt (vgl. Subkategorie 4.3.2g), setzt er es nicht im Unterricht ein. Die Gründe hierfür benennt er nicht.

Darüber hinaus setzen Kruse und Lücking das Arbeitsblatt zur qualitativen Auswertung des Photoeffekts (Subkategorie 4.5.8) ein. Kruse bewertet es positiv, dass die Schüler*innen „Schritt für Schritt geleitet“ (Kruse, SR1, 5) werden, um selber die Versuchsauswertung durchzuführen und so zu den wesentlichen Erkenntnissen zu gelangen. Auch Schneider überlegt, dieses Arbeitsblatt ihren Schüler*innen zu geben, entscheidet sich aber dagegen:

„Ja, ich wollte das dann eigentlich noch mal machen, hatte ich denen aber dann eh nicht mehr gegeben, weil ich dachte, im Grunde genommen ist das dann- //I: Ist ja dann doppelt gemoppelt dann irgendwie, ne?// Also wir haben zwar noch zum Photoeffekt geübt, aber dann im Prinzip *noch ein bisschen mehr eh, ich sage mal, gerechnet*. Also, ne? So, dass die eh auch mit den Formeln umgehen können, weil die da oft auch Schwierigkeiten, die Energiebilanz nochmal“ (Schneider, SR1, 46).

Anscheinend fand Schneider das Arbeitsblatt nicht genug quantitativ ausgerichtet (es sind neben Auswerteaufgaben auch Verständnisfragen wie „Welche physikalische Bedeutung hat der y-Achsen-Abschnitt?“ enthalten).

Das Arbeitsblatt zur Selbstkontrolle im Physikunterricht (Subkategorie 4.5.9) wird von keiner Lehrkraft eingesetzt. Das ist insofern überraschend, als dieses Arbeitsblatt Aufgaben zum gesamten Themenkomplex des Basis-kurses bereithält. Überdies handelt es sich um das einzige Arbeitsblatt, zu dem auch Musterlösungen bereitgestellt werden (da die Schüler*innen die Möglichkeit haben sollen, ihre Lösungen mit der Musterlösung zu vergleichen). Lücking kritisiert bspw. explizit an einem anderen Arbeitsblatt, dass dazu keine Musterlösung vorliegen:

„Also gerade bei der Entscheidung „Nehme ich das jetzt?“ Ehm würde mir da tatsächlich erst einmal zu diesem Arbeitsblatt erst einmal *eine kurze, knappe quasi Musterlösung helfen*. Weil man kann zwar dann irgendwann selber auch als Lehrer jetzt erst einmal eh für sich eine *Sicherheit gewinnen*, das ist jetzt tatsächlich die richtige Antwort, aber dazu muss ich- //I: Ich verstehe, was Sie meinen.// Dazu muss ich auch wirklich die *zehn Seiten Lehrtext dann auch erst einmal gelesen haben*“ (Lücking, SR1, 101).

Es wird deutlich, dass sich Lücking aus Gründen der fachlichen Absicherung (Subkategorie 5.1) und aus einem pragmatischen Verhalten heraus (Subkategorie 2.1.3) Musterlösungen wünscht. Tatsächlich äußert sich keine Lehrkraft zu diesem Arbeitsblatt (auch nicht kritisch). Dies stützt die Annahme, dass die teilnehmenden Lehrkräfte sich mit dem Arbeitsblatt nicht auseinandergesetzt haben. Eine Hypothese hierzu ist, dass die teilnehmenden Lehrkräfte gar nicht bis dahin den Materialordner (sorgfältig) durchgingen, da dieses Arbeitsblatt am Ende des Basiskurses abgeheftet ist (und sich somit weiter hinten im Ordner befindet).

Leinert und Lücking setzen hingegen ein Arbeitsblatt zu den Grundprinzipien der Quantenphysik ein (dazu gibt es insgesamt vier) (Subkategorie 4.5.10). Beide nutzen das Arbeitsblatt zur Simulation zum Doppelspalt. Sie finden es gut, dass das Arbeitsblatt die Bearbeitung der Simulation anleitet:

„Dort war als Hausaufgabe, weil ich auch darauf hinarbeiten möchte, *dass die Schüler mit digitalen Medien umgehen*, dass sie tatsächlich ihre Hausaufgabe mit Hilfe von Bildschirmausschnitten oder Bearbeitungen von digitalem Material, dass sie hier in- Also in ein vorbereitetes Arbeitsblatt, was ich gegeben habe, wo man halt den Versuchsaufbau sieht, aber ohne die Ergebnisse am Schirm aufschreibt, was schließe ich, welche Spaltbreite, welchen Spaltabstand habe ich, um dann halt das Muster zum Beispiel bei wenigen, bei vielen, hm - //I: Sollten sie dann da einzeichnen?// Genau, sollen sie einzeichnen und zwar auch digital direkt. Das sollten sie auch dann in den Austauschordner wieder übergeben. *Das heißt, da habe ich eine Stunde im Computerraum gemacht, ohne dass die halt den Stift bewegen mussten, sondern nur die Maus. Und das hat mir sehr geholfen hier, weil es wirklich schön, ehm, griffig war*“ (Leinert, I2, 34).

Der Einsatz der Simulation scheint vermehrt aus technischen Motiven denn aus fachdidaktischen Begründungen heraus zu erfolgen. Nichtsdestotrotz nutzen die betreffenden Lehrkräfte das Arbeitsblatt, um ihre inhaltlichen Ziele (vgl. Kategorie 5.3) zu unterstützen, z.B. zur „Anbahnung von Wahrscheinlichkeit, dass man halt gar nicht genau sagen kann, wo kommt das eigentlich an“ (Leinert, I2, 54). Krüger scheint sich dessen nicht (mehr) bewusst zu sein, aber auch er orientiert sich eng an diesem Arbeitsblatt, wie ein Abgleich seines Arbeitsblattes mit MILQ zeigt:

I: „Das hatten Sie selber formuliert? Oder hatten Sie da eine Vorlage?“

B: „Ne, das habe ich *selber gemacht. Ich kann mich an nichts anderes erinnern*“ (Krüger, SR1, 70f.).

Meyer führt zwar die Simulation zum Doppelspalt im Unterricht durch, entwickelt dazu aber ein eigenes Arbeitsblatt, welches nicht an der Vorlage aus MILQ orientiert ist. Weshalb er nicht auf das Arbeitsblatt in MILQ zurückgreift, geht aus seinen Aussagen nicht hervor.

Sechs Lehrkräfte (Kruse, Lenz, Leinert, Krüger, Lücking & Meyer) planen, Simulationen aus MILQ (Subkategorie 4.5.11) einzusetzen. Die durchschnittliche relative Nennungshäufigkeit für diese Subkategorie ist die dritthöchste – dementsprechend kann davon ausgegangen werden, dass die Simulationen bei der Unterrichtsplanung, -durchführung und -reflexion einen hohen Stellenwert einnehmen. Dies bestätigt ebenfalls die Häufigkeit der Nennungen zu den in MILQ enthaltenen Simulationen unter *4.3.2 Hohe Qualität des Konzepts*.

Bei Kruse verhindern jedoch technische Schwierigkeiten den Einsatz der Simulation zum Doppelspalt im Unterricht, wobei der genaue Grund unklar ist – möglicherweise ist dies auf eine mangelnde Medienkompetenz von Kruse zurückzuführen (vgl. Unterkapitel 8.3). Die weiteren fünf Lehrkräfte setzen die Simulation zum Doppelspalt (Leinert, Krüger, Lücking & Meyer) bzw.

die Simulation zum Mach-Zehnder-Interferometer (Lenz & Lücking) ein. Das interaktive Bildschirmexperiment zum Photoeffekt, das Simulationsprogramm zur Bestimmung von Energiespektren im Potentialtopf (Schrödingers Schlange) und das Simulationsprogramm zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsverteilung im Potentialtopf bei einer Neigung des Potentialtopfbodens (Schrödingers Wippe) werden von keiner Lehrkraft verwendet. Lediglich Leinert überlegt, die Simulation *Schrödingers Schlange* im Unterricht einzusetzen, was er jedoch nicht realisiert.

Die Simulationen werden in der Regel während der Unterrichtszeit eingesetzt, nur Lücking lässt eine Simulation eigenständig durch die Schüler*innen mithilfe des aus MILQ dazugehörigen Arbeitsblattes als Hausaufgabe erarbeiten. Typischerweise verfolgen die betreffenden Lehrkräfte mit dem Einsatz der Simulation zum Doppelspalt das inhaltliche Ziel, die Welleneigenschaften von Elektronen zu veranschaulichen (Subkategorie 5.3.4). Weiterhin werden beide Simulationen genutzt, um die Welle-Teilchen-Problematik (Subkategorie 5.3.2) und die Wahrscheinlichkeitsinterpretation (Subkategorie 5.3.7) aufzuzeigen. Darüber hinaus nutzt Krüger bei der Simulation am Doppelspalt auch die Funktion der Lampe um zu messen, durch welchen Spalt ein Elektron geht. Auf dieser Basis diskutiert er mit seinen Schüler*innen den quantenmechanischen Messprozess (Subkategorie 5.3.13). Dieses Ziel expliziert Lenz zwar nicht, allerdings nutzt sie in der Simulation zum Interferometer die eingebauten Polarisationsfilter, um ein Photon im Interferometer zu lokalisieren. Daher ist anzunehmen, dass auch Lenz weiterführende Interpretationsfragen mit ihren Schüler*innen bespricht.

Die betreffenden Lehrkräfte geben als Gründe für den Einsatz der jeweiligen Simulation aus MILQ an, dass man für die Quantenphysik „kaum Alternativen“ (Krüger, SR1, 14) habe, man könne „ja keine Realexperimente an der Stelle machen“ (Krüger, SR1, 14) (vgl. Subkategorie 2.2.8), außerdem könnten die Schüler*innen auf diese Weise „selber experimentieren“ (Meyer, SR2, 18) (vgl. Subkategorie 2.2.7). Explizit auf die Simulationen aus MILQ bezogen sagt Krüger (I2, 42):

„Wenn ich dann das Buch aufschlage, sehe ich dann irgendwelche, eine Quelle, einen Doppelspalt, einen Schirm und dann die Intensitätsverteilung dahinter. Wenn der Text jetzt einigermaßen nachvollziehbar für mich ist und auch nicht endlos lang, dann betrachte ich, dann erwäge ich das als selbstständige Schülererarbeitung. [...] *Das halte ich aber für problematisch in Bezug auf Motivation.* Das ist irgendwie immer dasselbe für die Schüler. Ne, sie sollen was lesen, sie sollen was herausarbeiten und so weiter. *Und wenn ich jetzt im Gegenzug den grünen Ordner [MILQ] aufschlage und sehe: Ah, da wird mir eine Simulation angeboten und innerhalb dieser Simulation sind auch noch Schritte, die eh die Schüler eh. Also, da ist es schon didaktisch aufbereitet,*

insofern, als dass da so eine genetische Schrittfolge eingehalten wird. Dann nehme ich natürlich das.“

Für Krüger sind folglich die Motivation der Schüler*innen (Subkategorie 1.5) und ein zeiteffizientes Vorgehen (Subkategorie 2.1.3) für die Auswahl handlungsentscheidend. Vermutlich spielt bei Lenz, Leinert und Krüger ihre handlungsleitende Einstellung dem Experiment gegenüber (Subkategorie 1.6) eine Rolle bei der Auswahl der Simulationen. Erwähnenswert ist weiterhin, dass Peters und Schmidt ebenfalls Elektronen am Doppelspalt betrachteten, dies aber alternativ mit der Betrachtung des Interferenzmusters am Schirm anhand einer Abbildung bzw. mit einem animierten Film von Doktor Quantum machten.¹⁰³ Dies ist konsistent mit ihrer an MILQ geäußerten Kritik zu den Simulationen (Kategorie 4.3.1).

Überdies bringen Peters, Schmidt und Meyer explizit zum Ausdruck, dass sie kaum oder nur wenig von MILQ insgesamt umsetzten (Subkategorie 4.5.12):

- „Es [MILQ] ist schön, ich freue mich, wenn ihr [die Schüler*innen] das versteht, nur das ist *way above your pay grade*. Also das ist halt einfach (...) für den Grundkurs nicht praktikabel“ (Meyer, II, 110).
- „Und das geht dann weiter von da zum Wasserstoffatom, eh Kapitel 9.7. Also das ist im Prinzip 4.3, 7.5, 9.5 und ne 9.6 und 9.7. Also die vier kleinen Kapitel würde ich sagen, die könnte ich demnächst mal irgendwie mit in den Unterricht mit einbauen. Wobei nur eins, nur ein Kapitel, das gehört mit hier zusammen, //I: Wirklich relevant ehm.// für alle, ne? Für alle und der Rest wäre dann halt für *Binnendifferenzierung für die hochbegabten Schüler*“ (Schmidt, II, 272).

Aus beiden Äußerungen geht deutlich hervor, dass die betreffenden Lehrkräfte MILQ im Anforderungsniveau als zu anspruchsvoll für die meisten ihrer Schüler*innen einstufen (Subkategorie 4.3.11).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass vor allem einzelne Elemente aus MILQ wie Arbeitsblätter, Simulationen oder Textauszüge umgesetzt werden. Eine enge Orientierung an MILQ ist hingegen nicht zu beobachten. Auffällig ist, dass keins der angeführten Elemente von allen elf Lehrkräften der Stichprobe umgesetzt wird, sondern individuell verschiedene Elemente aus MILQ genutzt werden. Weiterhin ist es interessant, dass die verschiedenen Arbeitsblätter, die in MILQ enthalten sind, nur von einigen Lehrkräften (Kruse, Schneider, Leinert, Krüger & Lücking) verwendet werden – was auf der Grundlage der Subkategorie 3.2.5 *Gutes Angebot an Aufgaben* anders zu erwarten gewesen wäre. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass es sich in

¹⁰³ Abrufbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=ip8cmyitHss> (aufgerufen am 04.11.2020).

MILQ um vermehrt qualitative Aufgaben mit einem Fokus auf das Konzeptverständnis handelt, die in vielen traditioneller geprägten Schulbüchern so nicht enthalten sind (Müller, 2008) und daher den Ansprüchen der Lehrkräfte nicht genügen (dazu gibt es allerdings keine Hinweise in den Interviews). Eine weitere Erklärung ist, dass viele der Arbeitsblätter erst weiter hinten im Materialordner abgeheftet sind und die Lehrkräfte möglicherweise bis dahin gar nicht lasen bzw. den hinteren Teil von MILQ nur überblättern. Denn es ist auffällig, dass insbesondere das Arbeitsblatt mit qualitativen Fragen zum Photoeffekt (das sich weit vorne im Ordner befindet) sehr häufig genutzt wird und das Arbeitsblatt zur Selbstkontrolle, welches Grundlagenwissen zur Quantenphysik allgemein abfragt und das einzige Arbeitsblatt mit Musterlösung ist, nicht genutzt wird. Dass das Arbeitsblatt mit den qualitativen Fragen zum Photoeffekt häufig genutzt wird, widerspricht der ersten Vermutung. Möglicherweise verbirgt sich aber auch eine andere Erklärung dahinter, die aus Aussagen in den Interviews nicht abgeleitet werden kann.

Es liegen weiterhin viele Hinweise dafür vor, dass die fachdidaktische Innovation von MILQ in vielen Fällen nicht (vollständig) umgesetzt wird. Vielmehr ist zu vermuten, dass viele Lehrkräfte sich wenig intensiv und tiefgreifend mit MILQ auseinandergesetzt haben und dadurch das Innovationspotential nicht (vollständig) erfassen.

8.2.5.7. Persönliches Fazit der teilnehmenden Lehrkräfte

Abschließend ist es aufschlussreich zu betrachten, inwieweit die teilnehmenden Lehrkräfte zufrieden mit dem Verlauf ihrer Unterrichtsreihe zur Quantenphysik sind (Subkategorie 6.2), da daraus Rückschlüsse auf ihre Zufriedenheit mit ihrer Nutzung von MILQ und auch auf die Gestaltung zukünftiger Durchläufe gezogen werden können. Letzteres ist insofern von Interesse, als dass die Einarbeitung in eine neue Unterrichtskonzeption offenkundig mit einem hohen zeitlichen Aufwand für die Lehrkräfte verbunden ist (vgl. Duit, Riquarts & Westphal, 1976; Kahlert, Hedtke & Schwier, 2000; Niehaus, 2011) und daher Lehrkräfte teilweise mehrere Unterrichtszyklen für die Umstellung auf eine neue Unterrichtskonzeption benötigen (vgl. Reinhold, 1997; Collopy, 2003).

Vier Lehrkräfte (Peters, Lenz, Schneider & Leinert) sind nach ihren eigenen Angaben zufrieden mit ihrer Unterrichtsreihe zur Quantenphysik. Sie merken zwar an, dass es noch Verbesserungspotential gebe, aber ihr Fazit – insbesondere in Bezug auf den Kompetenzerwerb der Schüler*innen – fällt positiv aus. Eine Lehrkraft (Kruse) ist hingegen aufgrund der limitierten Unterrichtszeit, die für das Thema Quantenphysik zur Verfügung steht, unzufrieden mit ihrer Unterrichtsreihe:

„[I]ch finde es eigentlich *noch zu kurz*. Wenn man es wirklich eh, man bräuchte eigentlich noch viel mehr Zeit, um darüber zu reden. [...] Also wir sind ja wirklich jetzt nur an der absoluten Grundlagen- //I: Oberfläche eigentlich, mh (bejahend). // also sind wirklich an der Oberfläche geblieben. [...] Aber, das geht ja jetzt, ich meine, *die ganzen Schlussfolgerungen daraus eh, das wird ja überhaupt noch gar nicht angesprochen*. [...] Ich habe jetzt auch alles gemacht, was das, was der Lehrplan, was ich laut Lehrplan machen muss. Also da ist alles mit drin. Und noch ein bisschen mehr, *aber im Prinzip gibt es so viele Sachen eigentlich noch, die man dazu sagen könnte*“ (Kruse, I2, 24).

Kruses Unzufriedenheit bezieht sich folglich nicht auf einen mangelnden Lernzuwachs ihrer Schüler*innen oder ihre eigene Kompetenz in Bezug auf das Unterrichten von Quantenphysik, sondern lediglich auf die Rahmenbedingungen der Unterrichtsreihe. Der Großteil der teilnehmenden Lehrkräfte konnte nicht näher klassifiziert werden, da sich zwei Personen unklar äußern (Krüger & Meyer) und bei den verbleibenden vier Personen (Schmidt, Janssen, Lücking & Kampe) bedauerlicherweise die entsprechende Frage im Interview nicht gestellt wurde. Insgesamt liegen jedoch keine Hinweise dafür vor, dass diese Lehrkräfte unzufrieden mit ihrer Unterrichtsreihe zur Quantenphysik sein könnten und Änderungsbedarf für zukünftige Durchläufe sehen.

Zusammenfassend lässt sich folglich für alle Lehrkräfte festhalten, dass keine Hinweise auf Unzufriedenheit mit der Unterrichtsreihe geäußert werden, die auf die Auseinandersetzung oder Umsetzung mit MILQ zurückzuführen wären. Weiterhin wird auch keine Ist-Soll-Abweichung im Konzeptverständnis der Schüler*innen wahrgenommen, wie dies in empirischen Studien mit Schüler*innen sowie Physikstudierenden der Fall ist (vgl. Abschnitt 5.2.2). Bei einem Ist-Soll-Abgleich legen die Lehrkräfte vielmehr als Kriterium an, inwieweit ihre Schüler*innen Aufgaben mit einem mathematischen Schwerpunkt in Hinblick auf das Abitur lösen können. Somit ist nicht mit Änderungen im zukünftigen Nutzungsverhalten von MILQ zu rechnen.

8.2.6. Zusammenfassung der themenbasierten Ergebnisdarstellung

Aus der themenbasierten Ergebnisdarstellung können die folgenden Erkenntnisse geschlussfolgert werden:

- a) Die befragten Lehrkräfte nehmen MILQ individuell sehr unterschiedlich wahr. Es können allerdings erhebliche Akzeptanzprobleme beim Großteil der teilnehmenden Lehrkräfte festgestellt werden.

-
- b) Es erfolgt (fast) keine analytische Auseinandersetzung mit dem fachdidaktischen Innovationspotential von MILQ.
 - c) Die Lehrkräfte nutzen lediglich einzelne ausgewählte Elemente aus MILQ, sodass es zu keiner Umsetzung der Tiefenstruktur des Konzepts kommt.
 - d) Es können sowohl implementationsförderliche als auch implementationshemmende Bedingungsfaktoren der Nutzung von MILQ identifiziert werden.

Die Rezeption von MILQ fällt individuell sehr unterschiedlich aus (a), was einen hohen Einfluss personenbezogener Merkmale auf die Materialnutzung zeigt. Einige der befragten Lehrkräfte sind etwa der Meinung, MILQ enthalte keine angemessenen Texte für die Bearbeitung durch Schüler*innen, wohingegen andere Lehrkräfte loben, dass MILQ Texte für Schüler*innen beinhalte, was auf diametral unterschiedliche Einschätzungen der Adäquatheit des Anforderungsniveaus von MILQ zurückzuführen ist. Weiterhin bezeichnen einige Lehrkräfte MILQ als lehrplankonform und andere nicht. Es handelt sich hierbei nicht notwendigerweise um gegensätzliche Einschätzungen, da sich die teilnehmenden Lehrkräfte oftmals auf unterschiedliche Elemente und weniger auf MILQ als Ganzes beziehen. Nichtsdestotrotz offenbart bereits die Bezugnahme auf verschiedene Elemente die unterschiedliche Schwerpunktsetzung verschiedener Lehrkräfte. Insgesamt zeigen sich bei vielen Lehrkräften große Akzeptanzprobleme in Bezug auf MILQ, die eine intensive Auseinandersetzung teilweise von vornherein verhindern.

Diese individuell geprägte Wahrnehmung wurde in den Interviews ebenfalls für weitere Materialien wie Schulbücher festgestellt und scheint typisch für das Materialnutzungsverhalten zu sein. Demnach ist es nicht ohne weiteres möglich, Materialmerkmale abzuleiten, welche implementationsförderlich sind. Stattdessen bedingen Faktoren wie externe Rahmenbedingungen, Vorstellungen zum Lehren und Lernen, Vorstellungen zur Materialnutzung und die verfolgten Ziele in einem komplexen Wirkgefüge die Materialnutzung (vgl. Abschnitt 3.3.3). Darüber hinaus kann von der Wahrnehmung von MILQ vermutlich nicht immer unmittelbar auf die Materialnutzung geschlossen werden, da einige Kriterien weniger handlungsleitend als andere zu sein scheinen (vgl. Wahl, 1991).

Weiterhin lässt sich festhalten, dass keine Lehrkraft (tiefergehend) auf das fachdidaktischen Innovationspotential von MILQ eingeht (b). Daher stellt sich die Frage, inwieweit die teilnehmenden Lehrkräfte das Innovationspotential von MILQ überhaupt erkennen. Es liegen zahlreiche Hinweise vor, die auf eine oberflächliche Auseinandersetzung mit MILQ schließen lassen. Erstens scheint aus der Kritik am Umfang und der mangelnden Lehrplankongru-

enz oftmals zu resultieren, dass eine Umsetzung des gesamten Konzepts von vorneherein ausgeschlossen und daher sich um keine intensive Auseinandersetzung bemüht wird. Stattdessen beziehen sich die betreffenden Lehrkräfte bei der Beurteilung von MILQ in der Regel auf einzelne ausgewählte Elemente. Aufgrund keiner zusätzlichen Begleitung der Implementierung von MILQ in der vorliegenden Studie (bpsw. in Form von Fortbildungen) erlangen die betreffenden Lehrkräfte daher auch über das Selbststudium hinaus keinen Überblick über das zugrundeliegende Konzept von MILQ. Zweitens äußern nur wenige Lehrkräfte stichhaltige Kriterien für die Beurteilung von MILQ. Es ist überdies bezeichnend, dass keine Lehrkraft sich bei der Beurteilung von MILQ auf die empirische Evaluation der Wirksamkeit bezieht – diese scheint keinerlei Einfluss auf ihre Einschätzung der Qualität von MILQ zu haben.

Daher erhärtet sich der Eindruck, dass die teilnehmenden Lehrkräfte sich lediglich oberflächlich mit der Sichtstruktur, nicht aber mit der Tiefenstruktur von MILQ auseinandersetzen (vgl. Reinhold, 1997; Land Tyminsik & Drake, 2015). MILQ wird nicht für eine Weiterbildung des fachdidaktischen Wissens genutzt (vgl. Siedel & Stylianides, 2018).

Als Konsequenz aus diesem Nutzungsverhalten implementieren die teilnehmenden Lehrkräfte lediglich einzelne ausgewählte Elemente aus MILQ, sodass die Tiefenstruktur des Konzepts nicht umgesetzt wird (c) (vgl. Vollstädt et al., 1999; Kahlert, Hedke & Schwier, 2000; Schneider & Krajcik, 2002; Beerenwinkel & Gräsel, 2005). Infolge der individuell ausfallenden Einschätzung von MILQ werden unterschiedliche Elemente von MILQ implementiert, sodass kaum generalisierbare Aussagen zu bevorzugten Materialeigenschaften möglich sind. Es kann lediglich festgehalten werden, dass am meisten Arbeitsblätter und Simulationen aus MILQ umgesetzt werden, die ohne großen Aufwand nutzbar sind.

Um Implikationen für eine Verbesserung des Transfers fachdidaktischer Innovation abzuleiten, werden nun implementationsförderliche sowie implementationshemmende Bedingungsfaktoren herausgearbeitet (d). Dabei sind offenkundig materialbezogene Bedingungsfaktoren von besonderem Interesse, da diese eine niederschwellige Möglichkeit der Optimierung bieten. Die bisherigen Ergebnisse offenbaren jedoch ein hohes Maß an individuellen Unterschieden, was die Betrachtung personenbezogener Bedingungsfaktoren ebenso erforderlich macht.

Obschon insgesamt eine eher kritische Haltung MILQ gegenüber überwiegt, bewerten die teilnehmenden Lehrkräfte einzelne Elemente durchaus als gelungen, weshalb zunächst Bedingungsfaktoren, die eine solche Einschätzung unterstützen, betrachtet werden sollen. Unter den personenbezogenen Merkmalen zählen dazu eine offene Haltung gegenüber neuen Zugängen und eine gewissen Probierfreudigkeit der Lehrkraft (vgl. Schrader et al., 2020),

Schnittstellen zu den verfolgten Unterrichtszielen und Intentionen von MILQ wie die Behandlung von Deutungsfragen der Quantenphysik (vgl. Jones & Carter, 2010; Eylon & Hofstein, 2015), eine pädagogisch orientierte Grundposition für die Übernahme von Aktivitäten für die Schüler*innen (vgl. Merzyn, 1994; Vollstädt et al., 1999; Tänzer, 2011; 2017) und niedrige Selbstwirksamkeitserwartungen beim Unterrichten von Quantenphysik bzw. das Bedürfnis nach einer fachlichen Absicherung (vgl. Möller, 2010).

Als implementationsförderliche materialbezogene Merkmale zum Thema Quantenphysik zählen vor allem Elemente für den Einsatz im Unterricht (vgl. Schneider & Krajcik, 2002; Tarr et al., 2006; Möller, 2010; Vorndran et al., 2014; Davis et al., 2017) wie bereitgestellte Aufgaben (vgl. McCutcheon, 1980; Merzyn, 1994; Remillard, 1999; Tebrügge, 2001; Starauschek, 2003; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012; Matic & Glasnovic Gracin, 2020), Simulationen als Ersatz von Realexperimenten (vgl. Weber, 2018) oder mögliche Tafelanschriften. Allerdings fallen die Einschätzungen zu MILQ, wie zuvor beschrieben, sehr unterschiedlich und teilweise sogar widersprüchlich aus, sodass diese materialbezogenen Merkmale lediglich Anhaltspunkte für eine Förderung der Implementierung darstellen.

Implementationshinderliche personenbezogene Merkmale stellen auf der Basis der Analysen ein stark ausgeprägt pragmatisches Verhalten, Vorstellungen zur Materialnutzung, die auf ein großes Autonomiebestreben, die modulare Nutzung von Materialien und ein Festhalten an der eigenen Praxis hindeuten, sowie eine geringe Berücksichtigung von Schülervorstellungen bei der Unterrichtsplanung. Neben diesen personenbezogenen Merkmalen, die auf einen Großteil der Stichprobe zutreffen, können auch personenspezifische Merkmale identifiziert werden, die als implementationshinderlich eingestuft werden können. Diese werden in den Fallbeschreibungen ausführlicher analysiert (vgl. Unterkapitel 8.3).

Aus den implementationshemmenden materialbezogenen Merkmalen wird in Kapitel 10 ein mögliches Optimierungspotential von MILQ in Betracht gezogen. Gleichwohl soll an dieser Stelle diskutiert werden, inwiefern das fehlende Verständnis der fachdidaktischen Innovation der Darstellung in MILQ geschuldet ist. Für diese Hypothese spricht, dass die gesamte Stichprobe das Innovationspotential nicht erkennt. Tatsächlich werden die Ziele von MILQ lediglich implizit vermittelt.

Es spricht allerdings dagegen, dass viele Lehrkräfte den MILQ vorangestellten Artikel, welcher mit Absicht dem Materialordner hinzugefügt wurde, da dort die Ziele, die Zusammensetzung und die empirische Evaluation von MILQ auf vier Seiten explizit dargelegt werden, gar nicht lesen und dass die Lehrkräfte, die den Artikel gelesen haben, nichtsdestotrotz das Innovationspotential von MILQ nicht zu erkennen vermögen. Überdies ist MILQ zwei der teilnehmenden Lehrkräfte bereits aus dem Studium aus fachdidakti-

schen Veranstaltungen bekannt, sodass angenommen werden kann, dass sie über das fachdidaktische Innovationspotential aufgeklärt sind. Aber auch diese Lehrkräfte äußern sich ebenfalls wenig analytisch zu MILQ und pflegen keinen anderen Umgang mit dem Konzept, sodass auch vermeintlich aufgeklärte Lehrkräfte kein anderes Nutzungsverhalten aufweisen. Das bedeutet zwar keinesfalls, dass nicht dennoch Optimierungspotential für MILQ besteht, aber das Problem in der Erkennung des Innovationspotentials und der Auseinandersetzung mit diesem kann nicht ausschließlich auf die Gestaltung von MILQ zurückgeführt werden.

In den nachfolgenden Fallbeschreibungen soll nun der Klärung möglicher Wirkmechanismen nachgegangen werden, indem das Zusammenspiel verschiedener Bedingungsfaktoren näher analysiert wird. Dazu wird die individuelle Auseinandersetzung mit MILQ genauer betrachtet, um die Ursachen, die zu einer oberflächlichen Auseinandersetzung und Umsetzung führen, besser nachzuvollziehen. Denn es ist auffällig, dass trotz unterschiedlicher Ausgangsvoraussetzungen und einer individuell sehr unterschiedlich ausfallenden Rezeption von MILQ das Nutzungsverhalten von MILQ auf einer übergeordneten Ebene ähnlich ausfällt. In diesem Zusammenhang soll versucht werden, die Frage zu klären, inwieweit das darauf hindeutet, dass unterschiedliche Bedingungsfaktoren ein ähnliches Nutzungsverhalten hervorrufen oder einige wenige Faktoren auf alle Lehrkräfte zutreffen und alles Weitere überstrahlen.

8.3. Fallbeschreibungen

Zusätzlich zur themenbasierten Ergebnisdarstellung werden in diesem Unterkapitel die Befunde auf Einzelfallebene analysiert und dargestellt, um eine ganzheitliche Interpretation des Datenmaterials pro Person zu vorzunehmen (Kuckartz, 2018; 2019). Auf diese Weise wird das Zusammenspiel unterschiedlicher Wirkfaktoren je Fall näher charakterisiert und es können handlungsentscheidende Bedingungen abgeleitet werden. Weiterhin bilden die Fallbeschreibungen die Grundlage für die Identifikation interindividueller Muster durch den Vergleich und die Kontrastierung der verschiedenen Fälle in Unterkapitel 8.5.

Für eine aussagekräftige Fallcharakterisierung werden pro Fall die Kategorien vorgestellt, die für die jeweilige Person handlungsleitend sind oder deutliche Abweichungen zu den restlichen Fällen aufweisen. Die Analyse, ausgehend von den unterschiedlichen Erhebungsinstrumenten zu einer Person an verschiedenen Erhebungszeitpunkten, erhöht aufgrund der methodologischen sowie zeitlichen Triangulation die Validität der gezogenen Interpretationen (vgl. Flick, 2014). Bei widersprüchlichen Befunden werden mögliche

Erklärungsansätze durch eine vertiefte Auseinandersetzung mit den vorliegenden Daten ermittelt. Im Folgenden werden die einzelnen Fälle nacheinander vorgestellt.

8.3.1. Mario Peters

Peters erwähnt *externe Rahmenbedingungen* im Vergleich zur restlichen Stichprobe in Bezug auf die relative Nennungshäufigkeit am wenigsten, listet allerdings insgesamt alle subsumierten Subkategorien auf. Zentral scheinen für ihn die Vorgaben durch den Lehrplan (Subkategorie 2.2.2) und fehlende Realexperimente zur Quantenphysik (Subkategorie 2.2.8) zu sein.

Bei seinen *Vorstellungen zum Lehren und Lernen* fällt auf, dass Peters neben Schmidt als einzige Lehrkraft der Stichprobe nicht als uneingeschränkt schüleraktivierend eingestuft ist (Subkategorie 1.1). Peters beschreibt seinen Unterrichtsstil als „eher frontal“ (I1, 84) (Subkategorie 1.2). Weiterhin ist die Planung und Durchführung von Experimenten für Peters handlungsleitend (Subkategorie 1.6), wobei nicht immer eine didaktisch begründete Einbettung in den Unterrichtsgang erfolgt:

Und ehm ein Lichtteilchen entsteht dadurch. Also genau anders herum als wie beim Photoeffekt, beim äußeren Photoeffekt. Ehm allerdings passiert das ja auch mit einem Elektron, ein Elektron gibt die Energie an EIN Lichtteilchen ab. *Und ja eigentlich habe ich mir das so noch gar nicht überlegt, was der Unterschied zwischen beiden [Versuchen] ist.* Aber naja, es ist auch wieder, es entstehen wieder Teilchen und es sind nur Teilchen ehm involviert, in dem ganzen Prozess da“ (SR1, 66).

Diese Vorstellung wirkt sich auf seine Unterrichtsplanung und seine Materialnutzung aus, worauf im weiteren Verlauf näher eingegangen wird.

Insgesamt kann Peters als sehr fachlich und weniger pädagogisch orientiert beschrieben werden, was sich in einer transmissiven Vorstellung konkretisiert. Es ist zu vermuten, dass diese fachliche Orientierung und der hohe Stellenwert des Experiments mit Peters Werdegang als promovierter Experimentalphysiker und Quereinsteiger zusammenhängen (vgl. Oettinghaus, Korneck, Krüger & Lamprecht, 2016).

Sein *Vorgehen bei der Unterrichtsplanung* ist technisch innovationsbereit (Subkategorie 2.1.2), was mit seinem Fokus auf Experimente konform geht. Hierbei stehen allerdings seine eigenen Interessen mehr im Vordergrund als die Unterstützung des Lernprozesses der Schüler*innen. Eine didaktische Innovationsbereitschaft (Subkategorie 2.1.1) ist bei ihm hingegen nicht festzustellen. Weiterhin ist sein Vorgehen zeiteffizient sowie routiniert und weist gefestigte Handlungsskripte auf (Subkategorie 2.1.3): „Es ist auch einfach na-

türlich, wenn man immer das Gleiche unterrichten muss, die Vorbereitung [...] ist da natürlich extrem kurz“ (I1, 82).

Peters *Reflexion* seiner Unterrichtsstunden ist aus fachdidaktischer Perspektive eher oberflächlich und wenig aufgeklärt (Subkategorie 6.1.1). Bspw. antwortet Peters auf die Frage der Begründung der Reihenfolge seiner Unterrichtsreihe: „Das ist immer so ein natürlicher Weg. *Ich weiß nicht, kann man das auch anders aufbauen?*“ (I2, 69). Ferner stuft Peters (trotz seiner handlungsleitenden Haltung Experimenten gegenüber) Simulationen als per se nicht lernförderlich für Schüler*innen ein, da sie nicht die Realität abbilden. Fachlich reflektiert er hingegen eher tiefgreifend, wobei er teilweise über die Schulphysik hinausgeht (bspw. spricht er über das Bändermodell) (Subkategorie 6.1.2).

Allerdings weist er niedrige *Selbstwirksamkeitserwartungen beim Unterrichten von Quantenphysik* (Subkategorie 5.1) auf, was mit einem *geringen persönlichen Interesse an der Quantenphysik* zusammenhängt (Subkategorie 5.2). Es ist zu vermuten, dass sich das implementationshemmend auf MILQ auswirkt.

Seine *Ziele zur Quantenphysik* orientieren sich eng an den Lehrplanvorgaben. Er behandelt aber über die Lehrplanvorgaben hinaus noch die Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation und das Bändermodell. Peters ausgearbeitetes Skript zur Quantenphysik erweckt den Eindruck, dass er hinsichtlich der behandelten Themen zwischen Grund- und Leistungskurs nicht unterscheidet und lediglich im Leistungskurs zusätzliche Aufgaben in Übungsphasen bereitstellt.

Darüber hinaus nennt er als einzige Person der Stichprobe häufiger *quantenmechanische Phänomene* als Unterrichtsziele der Quantenphysik, was seine durch das Experiment dominierte Handlungsorientierung unterstreicht. Zudem ist Peters' relative Nennungshäufigkeit zur Behandlung quantenmechanischer Phänomene mit 136 % die höchste von allen teilnehmenden Lehrkräften (Durchschnitt: 99 %). Hierbei gibt er an, auch unübliche Experimente wie die Wechselwirkung von Licht und Materie mit Fotopapier, die Frequenzabhängigkeit von Licht mittels Fluoreszenzpapier oder Beugungsfiguren nach Koppelman im Unterricht durchzuführen.

Es können bei Peters die folgenden *Vorstellungen zur Materialnutzung* identifiziert werden: *3.1.1 Erfolgreiche Erprobung kein Qualitätsmerkmal* und *3.1.6 Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen*. Letzteres spiegelt sich in seiner Bevorzugung seiner eigenen Materialsammlung wider.

In Bezug auf die *inhaltlichen Materialnutzungskriterien* tätigt Peters im Vergleich zu den anderen Lehrkräften insgesamt wenig Aussagen. Seine relative Nennungshäufigkeit beträgt 44 % im Gegensatz zu den durchschnittlichen 109 %. Am häufigsten nennt er ein gutes Angebot an Aufgaben (Subkategorie 3.2.5). Weiterhin ist es für Peters bei der Materialauswahl relevant,

inwieweit er als Lehrkraft die Materialien interessant findet (Subkategorie 3.2.1). Ein angemessenes Anforderungsniveau für die Schüler*innen scheint für ihn hingegen weniger von Bedeutung zu sein (3 ‰ relative Nennungshäufigkeit im Gegensatz zum Durchschnitt von 16 ‰). Folglich scheint sich Peters' geringe pädagogisch orientierte Grundposition in seiner Materialauswahl zu konkretisieren.

Auch zu den *formalen bzw. pragmatischen Materialnutzungskriterien* tätigt er weniger Aussagen als die restlichen teilnehmenden Lehrkräfte – seine relative Nennungshäufigkeit liegt mit 29 ‰ fast 50-Promille-Punkte unter dem Durchschnitt. Diese geringen relativen Nennungshäufigkeiten sind darauf zurückzuführen, dass Peters als *Materialien zur Unterrichtsvorbereitung oder im Unterricht* neben seiner eigenen Materialsammlung (Subkategorie 3.4.3) kaum andere Materialien nutzt und dementsprechend seinen Auswahlprozess nicht weiter ausführt. Für die Quantenphysik beinhaltet diese ein ausgearbeitetes Skript, welches Peters auf der Basis von Materialien eines früheren Ausbildungslehrers entwickelte.

Die von ihm aufgeführten *Gründe für das Selbststudium* spiegeln das Bedürfnis, Abwechslung im Berufsalltag zu haben, wider: „[W]eil sonst wird es auf die Dauer doch dann langweilig, wenn man jedes Jahr immer das Gleiche, dasselbe hat“ (I1, 80). Dabei bedeutet Weiterbildung für Peters im Sinne seiner technischen Innovationsbereitschaft die Suche nach neuen Experimenten.

Insgesamt fällt Peters' *Urteil über MILQ* eher kritisch aus. Seine größten Kritikpunkte sind zu wenig Experimentiervorschläge und fehlende Anwendungen (Subkategorie b & c). Darüber hinaus gibt Peters an, dass MILQ für ihn nichts Neues (Subkategorie a) darstelle, da lediglich die „Standardexperimente“ (I2, 118) zur Quantenphysik enthalten seien. Auf das fachdidaktische Innovationspotential von MILQ geht Peters in diesem Zusammenhang nicht ein, sodass sich seine fachorientierte Suche nach Experimenten als zentraler Auswahlfilter abzeichnet. Peters lobt allerdings an MILQ, dass er es gut zur eignen fachlichen Unterrichtsvorbereitung nutzen kann, wobei er sich explizit auf das Kapitel 2 zur Präparation bezieht:

„Die Präparation habe ich mir mal durchgelesen, war ganz interessant, einfach mal darauf nochmal gestoßen zu sein, *was Präparation eigentlich bedeutet*. Und das habe ich mir auch eigentlich so nie darüber nachgedacht, was dieses Präparieren bedeutet. Man macht das Experiment und man präpariert natürlich auch“ (I1, 132).

Peters scheint die Bedeutsamkeit des Präparationsbegriffs zu erkennen und in seinen Unterricht zu übernehmen.

Insgesamt gibt Peters an, sich nicht mit der gesamten Unterrichtskonzeption auseinandergesetzt zu haben: „Ja, *die ersten paar Seiten* habe ich mal

durchgelesen, aber dann hatte ich noch andere Sachen zu erledigen“ (I1, 132). Auch am Ende der Unterrichtsreihe sagt er über seine Auseinandersetzung mit MILQ: „Ganz durch bin ich natürlich nicht“ (I2, 71). Mit den in MILQ bereitgestellten Simulationen beschäftigt er sich zudem gar nicht, was auf seine grundsätzliche Ablehnung von Simulationen im Unterricht zurückzuführen ist.

Dementsprechend implementiert Peters nur sehr wenig von MILQ in seinem Unterricht. Wie zuvor berichtet, führt er den Begriff *Präparation* ein, wobei er nicht angibt, Materialien aus MILQ zu verwenden. Weiterhin gibt er an, sich bei einem Gedankenexperiment zum Doppelspalt beim Vergleich klassischer Teilchen und Elektronen von MILQ angeregt worden zu sei. Peters setzt folglich nicht die zentrale fachdidaktische Innovation von MILQ um. Er fasst seine Nutzung von MILQ folgendermaßen zusammen:

„Also, wenn ich jetzt ein Referendar wäre und ich hätte selber keine Ideen [...] und ich müsste jetzt Quantenphysik unterrichten, *ich hätte überhaupt gar kein Konzept, dann ist das [MILQ] eine tolle Sache.* [...] Da ich aber //I: Ja klar, man hat so seine Ideen// ich hatte schon Erfahrung hatte ich schon. [...] Mache ich sowieso viele Sachen aus dem Skript dann“ (I2, 132).

Hierbei zeichnen sich sowohl Peters Vorstellungen zur Materialnutzung als auch sein pragmatisches Verhalten als Motive ab.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass für Peters Experimente und technische Anwendungen seine Wahrnehmung von Materialien filtert. Fachdidaktische Überlegungen spielen hingegen weniger eine Rolle. Es ist anzunehmen, dass dieses Verhalten mit seiner fachlich orientierten Grundposition und seinem Quereinstieg aus der Experimentalphysik zusammenhängt. Daher ist eine Unterstützung durch MILQ für Peters fachlich sinnstiftend – allerdings nimmt er die dort enthaltene fachdidaktische Innovation aufgrund seines Auswahlfilters nicht wahr. Er erkennt daher keinen unterrichtlichen Mehrwert in der Implementierung von MILQ und unterrichtet weiter nach seinem ausgearbeiteten Skript.

8.3.2. Miriam Kruse

Hinsichtlich der *Planungskriterien/Rahmenbedingungen* weicht Kruse nur wenig vom Durchschnitt ab. Sie nennt die Lehrplanvorgaben mit Abstand am häufigsten, weshalb sie vermutlich für Kruse besonders relevant sind. Neben dem Kerncurriculum berichtet Kruse von schulinternen Absprachen, welche Versuche in der Oberstufe durchgeführt werden.

Kruse kann in Bezug auf ihre *Vorstellungen zum Lehren und Lernen* sowohl als schüleraktivierend (Subkategorie 1.1) als auch als lehrergelenkt (Subkategorie 1.2) eingestuft werden, wobei ersteres wesentlich stärker ihr

Handeln beeinflusst, da sie mehr Eigentätigkeit ihrer Schüler*innen anstrebt. Insgesamt ist Kruse mittel bis hoch ausgeprägt sowohl pädagogisch als auch fachlich orientiert. Darüber hinaus ist für sie der Einsatz von Experimenten im Unterricht handlungsleitend (Subkategorie 1.6).

Kruses *Vorgehen bei der Unterrichtsplanung* zeichnet sich durch eine hohe didaktische Innovationsbereitschaft aus (Subkategorie 2.1.1):

„[M]an rührt ja immer so ein bisschen im eigenen Brei, ne. Also ich habe jetzt Quantenphysik schon ein paar Mal auch unterrichtet. Und man hat natürlich so sein Konzept und man hat auch so seine Materialien. Aber ich denke immer so ein bisschen mal wieder ein bisschen Input von außen oder so ein paar Anregungen von außen, da hoffe ich einfach, *dass man da auch so seinen Stil, den man so hat, vielleicht auch nochmal ein bisschen überarbeitet, verändert, also vielleicht mal was Neues ausprobiert*“ (I1, 6).

Das Beispiel illustriert weiterhin, dass Kruses Handeln nicht ausschließlich von pragmatischen Motiven gesteuert wird (Subkategorie 2.1.3) – anders als bei Peters.

Die fachdidaktische *Reflexion* ihrer Unterrichtsstunden ist eher oberflächlich, da Kruse lediglich beschreibt, was im Unterricht geschieht (Subkategorie 6.1.1). Aus Fortbildungen verfügt Kruse zwar über fachdidaktisches Hintergrundwissen zu Kontextorientierung, Schülervorstellungen und den fachdidaktischen Funktionen von Experimenten, aber daraus scheinen wenig Konsequenzen für ihre Unterrichtsgestaltung zu resultieren:

„[G]rundsätzlich finde ich Versuche total wichtig. Ich finde noch wichtiger eigentlich Schülerversuche in der Mittelstufe, so sechs, sieben, acht und neun, so da, wo es geht, finde ich das total wichtig. Ehm eben auch Demonstrationsversuche, *aber ich weiß, dass auch der Trend oder, dass es auch mittlerweile Studien gibt, die belegen, dass sich durch Versuche ehm das Lernverhalten und auch die Lernergebnisse nicht verbessern*. Habe ich gerade jetzt am Montag auf einer Fortbildung bei uns an der [anonymisiert] Uni [. . .]. Ich weiß, dass es bei uns auch Kollegen gibt, die sehr ungern Versuche machen. Die auch, heutzutage haben wir ja nun die Möglichkeiten mit den Animationen auch zu nutzen. Oder auch YouTube-Videos arbeiten, ja, das geht natürlich auch. Das setze ich auch manchmal ein, aber ich denke, *schöner ist es immer noch, wenn man einen Versuch hat, der überschaubar ist, den Schüler nachvollziehen können und noch besser ist, wenn sie selber irgendwas mal aufnehmen*“ (I1, 62).

Stattdessen zeichnet sich eine Aktivitätsorientierung (vgl. Fischler, 2000b) bei Kruse ab.

Ferner weist Kruse niedrige *Selbstwirksamkeitserwartungen beim Unterrichten von Quantenphysik* aufgrund fachlicher Unsicherheiten auf, womit ein hohes persönliches Interesse an der Quantenphysik und das Bedürfnis,

sich diesbezüglich weiterzubilden, einhergeht (vgl. Möller, 2010): „Deswegen lese ich immer noch nach wie vor sehr gerne viel darüber oder freue mich über alle Informationen, die ich kriegen kann“ (I1, 194).

Kruse listet zwölf *Ziele der Quantenphysik im Physikunterricht* auf, die sie in ihrem derzeitigen Physikkurs verfolgt. Damit nennt sie von den teilnehmenden Lehrkräften gemeinsam mit Schmidt die höchste Anzahl an Zielen. Das ist insofern bemerkenswert, da Kruse einen Grundkurs unterrichtet. Im Vergleich zu den anderen Grundkurs-Lehrkräften scheint sie folglich thematisch sehr viel in ihrer Unterrichtsreihe abzuhandeln. Kruse ist als Ziel die Diskussion von Deutungsfragen wichtig, weshalb sie ihre Schüler*innen die Kopenhagener Deutung, die statistische Deutung und die Viele-Welten-Deutung gegenüberstellen lässt. Nach ihren Angaben unterrichtet sie weiterhin Themen wie den Compton-Effekt oder die Unbestimmtheitsrelation, die vom Lehrplan gar nicht vorgeschrieben sind, sie aber „total wichtig“ (I2, 32) findet.

„*Unbestimmtheitsrelation ist jetzt nach diesem neuen Kerncurriculum im Grundkurs ganz raus. Was ich aber ganz schlimm finde und auch nicht berücksichtigen werde, weil ich finde, wie soll ich denn über Quantenphysik reden, wenn ich nicht über die Unbestimmtheitsrelation nochmal rede*“ (I1, 156).

Die Bereitschaft, aus ihrer Perspektive relevante Themen über die Lehrplan-Vorgaben hinaus zu unterrichten, ist bezeichnend, da mehrere teilnehmende Lehrkräfte über Schwierigkeiten berichten, alle abiturelevanten Themen in der verfügbaren Unterrichtszeit zu behandeln. Dies könnte positive Auswirkungen auf die Implementierung einer fachdidaktischen Innovation haben, wenn Kruse einen Mehrwert in den darin verfolgten Zielen sieht. Allerdings liegt bei Kruse die Vermutung nahe, dass sie keine klare Unterscheidung in der Unterrichtsreihe eines Grund- bzw. Leistungskurses vornimmt, sondern ein etabliertes Konzept zur Quantenphysik besitzt und dieses grundsätzlich anwendet. Diese Interpretation würde wiederum für eine hohe Stabilität von Kruses Vorgehen sprechen und sich eher hinderlich auf die Implementierung einer Innovation auswirken (vgl. Subkategorie 3.1.6 *Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen*).

Ihre Unterrichtsreihe ist mit 20 45-Minuten-Einheiten die längste Unterrichtsreihe zur Quantenphysik aller teilnehmenden Grundkurslehrkräfte. Nichtsdestotrotz gibt Kruse an, aufgrund der engen Zeitvorgaben nur an der „Oberfläche“ (I2, 24) der Quantenphysik gekratzt zu haben. Kruse hätte nach ihren eigenen Angaben gerne noch die Themen *Nichtlokalität* und *Verschränkung* behandelt.

Kruse listet neben Lücking die meisten Schülervorstellungen als *Schwierigkeiten beim Unterrichten von Quantenphysik* auf. Sie nennt das Beibehalten

einer klassischen Denkweise, einen unreflektierten Welle-Teilchen-Dualismus und die Schwierigkeiten eines kognitiven Konflikts. Aus ihren Äußerungen geht jedoch kaum hervor, inwieweit ihre Kenntnisse Einfluss auf ihr unterrichtliches Handeln haben.

Als *Vorstellungen zur Materialnutzung* können bei Kruse 3.1.1 *Erfolgreiche Erprobung kein Qualitätsmerkmal* und 3.1.6 *Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen bzw. Stil* festgestellt werden.

Kruse tätigt mit 38 % von allen teilnehmenden Lehrkräften unter den *inhaltlichen Materialnutzungskriterien* am wenigsten Nennungen, weshalb diese für sie keinen hohen Stellenwert einzunehmen scheinen. Am häufigsten nennt sie die Kriterien 3.2.2 *Passende Themenwahl* und 3.2.9 *Für Schüler*innen angemessene Anforderungen*. Es fällt auf, dass Kruse das Kriterium 3.2.13 *Alltagsbezug/interessefördernd* nicht erwähnt, das sonst – mit Ausnahme von Lücking – von allen anderen teilnehmenden Lehrkräften angeführt wird. Auch unter den Vorstellungen zum Lehren und Lernen wurde Kruse aufgrund fehlender Äußerungen nicht als motivierend eingestuft (Subkategorie 1.5).

Stattdessen überwiegen bei Kruse *formale bzw. pragmatische Materialnutzungskriterien* mit einer relativen Nennungshäufigkeit von 63 %. Das überrascht, weil ihr Vorgehen in der Unterrichtsvorbereitung nicht als pragmatisch eingestuft wurde. Allerdings spielt für sie weniger die Arbeitserleichterung als vielmehr die Bereitstellung digitaler Medien (Subkategorie 3.3.4) eine Rolle, was sich wiederum zusammenbringen lässt mit ihrer Bereitschaft, Neues auszuprobieren, der durch das Experiment orientierten Handlungsorientierung in Bezug auf den Einsatz von Simulationen und ihrer oberflächlichen fachdidaktischen Reflexion.

Weiterhin nutzt Kruse nach eigenen Angaben viele unterschiedliche *Materialien zur Unterrichtsvorbereitung oder im Unterricht*. Insbesondere zum Selbststudium greift sie auf auffallend viele Materialien wie fachdidaktische Zeitschriften für Lehrkräfte, Lehrbücher, Handreichungen oder sowie Fortbildungen zurück (Subkategorien 3.4.4, 3.4.6, 3.4.7 & 3.4.8), was u.a. auf ihre didaktische Innovationsbereitschaft zurückzuführen ist. Zu Fortbildungen tätigt Kruse überdies von allen teilnehmenden Lehrkräften mit einer relativen Nennungshäufigkeit von 33 % am meisten Äußerungen (Durchschnitt: 5 %).

In Bezug auf ihre *Einschätzung von MILQ* nennt Kruse am häufigsten als Kritikpunkt, dass die in MILQ enthaltenen Simulationen benutzerunfreundlich seien (Subkategorie f). Interessanterweise führt keine andere Lehrkraft diesen Kritikpunkt an. Wahrscheinlich ist diese Kritik eher auf eine geringe digitale Medienkompetenz von Kruse zurückzuführen. Denn Kruse berichtet in einem anderen Zusammenhang, dass ihr Mann und ihr Sohn sie häufiger im Umgang mit digitalen Medien unterstützen müssen. Nichtsdestotrotz führt dieser Umstand dazu, dass Kruse die Simulation zum Doppelspalt aus

MILQ nicht nutzt, obwohl sie diese ursprünglich im Unterricht eingeplant hatte.

Darüber hinaus gibt sie an, das Kapitel 2 zur Präparation „suspekt“ (I1, 142) zu finden: „Also da weiß ich noch nicht so ganz genau, ob ich das ehm, würde das jetzt *in mein Konzept erstmal nicht unbedingt so reingehören*“ (I1, 144). Letztendlich setzt sie es nicht im Unterricht um, wodurch ihre Vorstellung zur Materialnutzung 3.1.6 *Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen* zum Ausdruck kommt.

Es ist auffällig, dass Kruse im Vergleich zur restlichen Stichprobe wenig Äußerungen zu der Subkategorie *l) Keine angemessenen Anforderungen für Schüler*innen* tätigt. Stattdessen bezeichnet sie das Anforderungsniveau von MILQ mehrfach als für Schüler*innen angemessen (Subkategorie *i*), was neben ihr nur Schmidt macht. Es ist zu vermuten, dass Kruse relativ hohe Anforderungen an ihren Grundkurs stellt, was bereits unter den inhaltlichen Kriterien der Materialnutzung deutlich wurde, da Kruse als einzige Lehrkraft unter 3.2.9 *Für Schüler*innen angemessene Anforderungen* Bezug auf eine Unterforderung der Schüler*innen nimmt:

„Ja und ich, man muss auch sagen vieles, also ich glaube, *wir sind eine recht gute Schule mit einem relativ hohen, ich glaube schon, mit einem ganz guten Niveau* auch so, meine ich. Ehm was mir oft passiert auf Fortbildungen, dann ist, dass ich einfach, das ist alles nett und so, *aber da fehlt dann so ein bisschen die Forderung auch für einen sehr guten Gymnasiasten*“ (I1, 238).

Das spiegelt sich weiterhin in der hohen Anzahl ihrer verfolgten Ziele wider. Dieser hohe Anspruch scheint Kruses Wahrnehmung von MILQ zu prägen.

Kruse schätzt ihre eigene Bereitschaft, MILQ im Unterricht zu implementieren, als hoch ein, was sie daran festmacht, dass sie weniger als gewöhnlich mit dem Schulbuch arbeitet, obgleich sie „ein großer Fan vom Metzler“ (I2, 92) ist. Sie gibt allerdings ebenfalls an, nicht das gesamte Konzept gelesen zu haben. Stattdessen setzt sie sich mit einzelnen Elementen wie Arbeitsblättern, Textauszügen oder Abbildungen näher auseinander und setzt diese teilweise um. Auf die Frage am Ende der Unterrichtsreihe, ob sich durch die Nutzung von MILQ etwas an ihrem Vorgehen geändert habe, antwortet sie:

„Nein, eigentlich nicht. Also ich glaube, die, so *das grundsätzliche Vorgehen ist, glaube ich, ähnlich gewesen, also vom Ablauf, von der Reihenfolge*. Vielleicht ein kleines bisschen anders, aber ehm sonst eigentlich nicht“ (I2, 66).

Es gab ihrer Einschätzung nach lediglich mehr Phasen, „wo die Schüler selber etwas auch inhaltlich mal erarbeiten sollen“ (I2, 70), was offensichtlich durch ihr Bestreben nach Schüleraktivität gesteuert wurde.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich Kruse trotz ihres hohen persönlichen Interesses an der Quantenphysik, ihrer hohen didaktischen Innovationsbereitschaft und ihrem wenig pragmatischen Verhalten nicht tiefgreifend mit MILQ auseinandersetzt. Sie beschäftigt sich zwar durchaus intensiv mit MILQ, aber lediglich in Bezug auf die Oberflächenstruktur. Es ist zu vermuten, dass Kruse aufgrund ihrer fachdidaktisch wenig analytischen Perspektive das fachdidaktische Innovationspotential von MILQ nicht oder nur teilweise erkennt.

8.3.3. Kai Schmidt

Schmidt weicht hinsichtlich der *Planungskriterien/Rahmenbedingungen* nur wenig vom Durchschnitt ab. Interessant ist, dass Schmidt angibt, aufgrund der verkürzten Schulzeit durch G8 Übungsphasen der Schüler*innen aus dem Unterricht auszulagern, um alle für das Abitur relevanten Themenbereiche bearbeiten zu können (Subkategorie 2.2.2 & 2.2.9). Tatsächlich gestaltet Schmidt seinen *Vorstellungen zum Lehren und Lernen* zufolge seinen Unterricht sehr lehrergelenkt (Subkategorie 1.2) und wenig schüleraktivierend (Subkategorie 1.1). Auffällig ist, dass Schmidt, mit Ausnahme von Lücking, als einzige teilnehmende Lehrkraft wenig Wert auf die Motivierung seiner Schüler*innen legt. Insgesamt überwiegt eine fachlich orientierte Grundposition. Das hängt vermutlich wie bei Peters mit seinem Werdegang als Quereinsteiger zusammen (vgl. Oettinghaus et al., 2016).

Schmidts *Vorgehen bei der Unterrichtsplanung* ist ähnlich zu Peters äußerst routiniert und pragmatisch (Subkategorie 2.1.3). Schmidt bereitet bspw. für viele Klassen seinen Unterricht kaum noch vor, weil er das Wesentliche „im Kopf“ (I1, 145) hat. Dementsprechend fällt seine didaktische Innovationsbereitschaft gering aus (Subkategorie 2.1.1): „Solange das Auto fährt, fahre ich mit ihm“ (I1, 208).

Die *Reflexion* seines Unterrichts fällt bei Schmidt, mit Ausnahme von Janssen, als einzige Lehrkraft der Stichprobe bezüglich sowohl der fachdidaktischen, der fachlichen als auch unterrichtspraktischen Perspektive eher tiefgreifend aus (Subkategorie 6.1.1, 6.1.2 & 6.1.3). Das ist insbesondere im Hinblick auf seinen Werdegang bemerkenswert. Nichtsdestotrotz äußert auch Schmidt sich teilweise fachdidaktisch wenig aufgeklärt:

„Ein Gedanke, der einmal da ist, ein falscher, den kriegt man ganz schlecht wieder weg. [...] Deshalb muss man dafür sorgen, genau, dass sofort die richtige Vorstellung entsteht“ (I1, 85).

Wie Kruse listet Schmidt zwölf *Ziele der Quantenphysik im Physikunterricht* auf; alle anderen teilnehmenden Lehrkräfte geben weniger an. Insgesamt können Schmidts Unterrichtsstunden als inhaltlich sehr dicht beschrieben

werden, in die er teilweise kleine Exkurse einbaut, die über die Vorgaben des Lehrplans hinausgehen. Bspw. verweist Schmidt beim Doppelspalt-Versuch mit Elektronen auf die String-Theorie als Erklärungsansatz für die Nichtlokalität von Quantenobjekten¹⁰⁴ und thematisiert weiterhin die Verschränkung von Quantenobjekten. Darüber hinaus macht er seine Schüler*innen häufig auf technische Details aufmerksam, etwa wie einzelne Elektronen oder Photonen gemessen werden können oder welche Eigenschaften Fulleren aufweist und warum es als Material für einen Weltraumlift infrage käme.

In Bezug auf *Schwierigkeiten beim Unterrichten von Quantenphysik* nennt Schmidt die Schwierigkeit des Aufzeigens eines kognitiven Konflikts. Ansonsten beschäftigen Schmidt eher technische Details, was auf seine technische Innovationsbereitschaft zurückzuführen ist:

„[E]s scheint nicht möglich zu sein, Franck-Hertz mit Wasserstoffgas zu machen. Das habe ich stundenlang versucht. [...] Es gibt keine experimentellen Ergebnisse“ (I2, 67).

Als *Vorstellungen zur Materialnutzung* werden bei Schmidt 3.1.4 *Optimierung des Schulbuches über die Zeit* und 3.1.6 *Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen bzw. Stil* festgestellt. Erstere kann als Befürwortung einer Materialevaluation mit anschließender Überarbeitung interpretiert werden. Tatsächlich findet sich bei Schmidt nicht – wie beim Großteil der Stichprobe – die Vorstellung 3.1.1 *Erfolgreiche Erprobung kein Qualitätsmerkmal*. Aus seinen Vorstellungen zur Materialnutzung resultiert eine enge Orientierung am Schulbuch. Nichtsdestotrotz legt Schmidt großen Wert auf Eigenständigkeit:

„Und seit es *diese Kernlehrpläne sind, sind die nicht mehr so kleinteilig*, sondern da steht hinterher-, da steht nicht mehr drin, was man tun soll, sondern nur noch, was die die Schüler hinterher können sollen. *Und wie man dahin kommt, bleibt einem selbst überlassen. Das finde ich relativ gut*“ (I1, 56).

Am häufigsten nennt Schmidt in Bezug auf die *inhaltlichen Materialnutzungskriterien* die Subkategorie 3.2.6 *Fachliche Richtigkeit*. Dabei bezieht er sich insbesondere auf Simulationen, die seiner Meinung nach häufig so programmiert sind, dass sie die Wirklichkeit nicht korrekt abbilden. Vermutlich liegt diese Einstellung in seiner fachlich orientierten Grundposition begründet, da er nicht aus einer lernpsychologischen Sichtweise argumentiert. In-

¹⁰⁴Das ist weiterhin insofern bezeichnend, weil Schmidt in derselben Unterrichtsstunde mit seinen Schüler*innen ein Arbeitsblatt mit einem Textauszug von Wikipedia zur Interpretation von Schrödingers Katze in der De Broglie-Bohm-Theorie bespricht und dabei nicht darauf verweist, dass es sich hierbei um einen anderen Interpretationsansatz der Quantenphysik handelt.

teressant ist, dass ein gutes Angebot an Aufgaben (Subkategorie 3.2.5) für Schmidt weniger relevant zu sein scheint. Diesbezüglich unterscheidet er sich deutlich von der restlichen Stichprobe (relative Nennungshäufigkeit von 5 ‰ im Gegensatz zu im Schnitt 40 ‰). Möglicherweise ist dies auf seine wenig schüleraktivierende Vorstellung zum Lehren und Lernen zurückzuführen. In diesem Zusammenhang überrascht es allerdings, dass er als einer der wenigen Lehrkräfte eine Differenzierung im Schwierigkeitsgrad als Auswahlkriterium von Materialien angibt (Subkategorie 3.2.7). Weiterhin fällt auf, dass er eine empirisch nachgewiesene Wirksamkeit (Subkategorie 3.2.10) als Materialnutzungskriterium nennt, was seine Vorstellungen zur Materialnutzung widerspiegelt.

Neben inhaltlichen Materialnutzungskriterien nennt Schmidt mit einem Anteil von 43 % auch viele *formale bzw. pragmatische Materialnutzungskriterien*. Auffallend ausgeprägt ist dabei seine Betonung der Verfügbarkeit von Materialien (Subkategorie 3.3.8), was zu seinem pragmatischen Vorgehen bei der Unterrichtsvorbereitung passt.

Bei den *genutzten Materialien zur Unterrichtsvorbereitung oder im Unterricht* greift Schmidt in erster Linie auf das Schulbuch zurück, da er es als qualitativ hochwertig und überdies gut zugänglich einschätzt. Es bildet für Schmidt einen Vergleichsmaßstab für die Beurteilung anderer Materialien. Andere Materialien spielen allerdings eine untergeordnete Rolle für ihn. Das Schulbuch nimmt in der Unterrichtsreihe zur Quantenphysik für Schmidt einen ähnlichen Stellenwert ein wie für Peters dessen ausgearbeitetes Skript.

In Bezug auf Schmidts *Einschätzung von MILQ* fällt auf, dass seine Kritik mit einer relativen Nennungshäufigkeit von 174 ‰ weit über dem Durchschnitt von 68 ‰ liegt. An seiner sehr spezifischen Kritik wird deutlich, dass er sich im Detail mit MILQ auseinandersetzt. Dabei konzentriert er sich auf fachimmanente Aspekte. In diesem Zusammenhang bezeichnet Schmidt MILQ als nichts Neues (Subkategorie a). Insbesondere seine Kritik an der fachlichen Richtigkeit von MILQ (Subkategorie h) ist bezeichnend – besonders da die anderen teilnehmenden Lehrkräfte sich diesbezüglich wenig bis kaum kritisch äußern. Auch unter den allgemeinen Materialnutzungskriterien fiel Schmidt hierzu bereits auf. Wie schon in Abschnitt 8.2.2 beschrieben, erscheint Schmidts Kritik pedantisch und überspitzt. Er diffamiert den Autor von MILQ, indem er ihn als „Dilettant“ (I1, 277), „arrogant“ (I1, 227) und in Bezug auf seine Erklärperspektive als „anthropozentrisch“ (I1, 306) bezeichnet.

- „Dem fehlt klipp und klar jede Menge *Erfahrung, vor einer Klasse zu stehen*“ (I1, 363).
- „*Er [Rainer Müller] produziert für das Regal in der Bibliothek, aber nicht für die Schule. Was die meisten Leute tun, nur promovieren. Ist so. Bei den*

allermeisten Leuten landet das in irgendeinem Regal, es gibt 20 Leute in der Welt, die sich das einmal durchlesen, weil sie sich genau mit diesem Thema beschäftigen und das war es“ (I1, 421).

Bemerkenswert dabei ist, dass Schmidt Rainer Müller als Person und seinen Werdegang nicht weiter kennt, er also stereotyp urteilt. Insgesamt kann diese Kritik als grundsätzliche Aversion gegenüber universitärer (fachdidaktischer) Forschung interpretiert werden. Möglicherweise lässt sich das auf seine eigene Tätigkeit als (nicht promovierter) wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität zurückführen und/oder liegt in einer prinzipiellen Ablehnung von Autoritäten begründet. Für letzteres liegen Hinweise im Rahmen von Schmidts Lehrplankritik vor. Diese Vermutungen können jedoch auf der Grundlage des Datenmaterials nicht abschließend beantwortet werden.

Weiterhin hat Schmidts enge Orientierung am Schulbuch großen Einfluss auf seine Rezeption und Nutzung von MILQ:

- „Ja, also insgesamt [enthält MILQ] *einige nette Dinge*, die man vielleicht weiterverwenden kann. *Insgesamt relativ unbrauchbar. Also insgesamt weit unter dem Niveau des Schulbuches*“ (I1, 441).
- „Ich würde sagen, 50 bis 60 Prozent sind (unverständlich) schlechter. Ne, *schlechter als das Buch*. Ich will nicht sagen schlecht, aber schlechter als das Buch. Sodass ich sage: Ich nehme das bessere Material, ich nehme das Buch“ (I2, 99).
- „*Wenn man den Anspruch hat, die Quantenmechanik besser zu machen als bisher, dann muss man sie auch besser machen*. Das heißt, die müssen besser sein als das beste Schulbuch“ (I1, 260).

Bemerkenswert ist, dass Schmidt trotz seiner wertschätzenden Haltung dem Überarbeitungsprozess des Schulbuches gegenüber nicht auf die empirische Evaluation von MILQ eingeht, sondern MILQ vielmehr vorhält, dass es gegen die Tradiertheit des Schulbuches nicht ankomme.

„Eh *wenn ich jetzt nicht mit dir das Gespräch gehabt hätte, hätte ich nach dem ersten Kapitel das Ding in die Ecke gelegt* und //I: Weg damit, okay, mh (bejahend).// *so ein Scheiß*, brauchst du gar nicht weiter zu lesen, ne?“ (I1, 252)

Unter normalen Umständen hätte Schmidt sich folglich bei weitem nicht so intensiv mit MILQ auseinandergesetzt.

Trotz seiner sehr kritischen Einschätzung von MILQ identifiziert er einige Elemente, die er positiv bewertet. Hierbei handelt es sich primär um fachlich anspruchsvolle und stärker quantitativ ausgerichtete Elemente wie die Betrachtung von Elektronen am Einzelspalt unter der Perspektive der

Unbestimmtheitsrelation, den Weg zur Schrödinger-Gleichung und die Berechnung des dreidimensionalen Potentialtopfs. Vermutlich spiegelt sich darin Schmidts eigenes Interesse und seine Begeisterung an Physik wider. Er merkt jedoch an, dass diese Themen nicht abiturrelevant seien und sich daher seiner Ansicht nach lediglich als „Binnendifferenzierung für die hochbegabten Schüler“ (I1, 272) eignen. Demnach scheint das Materialnutzungskriterium *Differenzierung im Schwierigkeitsgrad* für Schmidt tatsächlich handlungsleitend zu sein. Als einer der wenigen Lehrkräfte aus der Stichprobe äußert er sich ferner lobend zur Einführung des Präparationsbegriffs in MILQ:

„Ehm die Präparation wird im Buch an sich nicht thematisiert. Und das wird im Buch so nebenher, im Dorn-Bader nebenher immer so mit, aber der Ausdruck taucht gar nicht auf. *Den Ausdruck werde ich demnächst mitverwenden.* Und ich werde es auch inhaltlich mal so eine halbe Stunde oder so was machen, dass man sich darüber Gedanken macht“ (I1, 264).

Es ist anzunehmen, dass Schmidt die Intention der Begriffsbildung in Bezug auf diesen Aspekt und damit einen Teil der fachdidaktischen Innovation von MILQ erkennt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Schmidt sich für physikalische Hintergründe und technische Details begeistert und sich damit ausgiebig beschäftigen kann, aber ansonsten äußerst zeiteffizient und pragmatisch in seiner Unterrichtsvorbereitung vorgeht. Er orientiert sich eng am Schulbuch, was ihm als Goldstandard im Vergleich zu anderen Materialien dient. Gleichzeitig hat er ein großes Autonomiebestreben und eine Abneigung gegen Vorgaben. Vor diesem Hintergrund setzt er sich zwar intensiv mit MILQ auseinander, konzentriert sich allerdings auf fachliche Details, so dass das große Ganze aus dem Blick gerät. So erkennt er lediglich die Einführung des Präparationsbegriffs als Teil der fachdidaktischen Innovation von MILQ, geht aber auf andere Ziele von MILQ nicht weiter ein. Aufgrund seiner kritischen Haltung und seiner Schulbuchorientierung entscheidet er sich letztendlich gegen eine Implementierung von MILQ.

8.3.4. Lisa Lenz

Für Lenz sind als *Planungskriterien/Rahmenbedingungen* die Vorgaben durch den Lehrplan (Subkategorie 2.2.2), das Erarbeiten von genügend Stoff für die nächste Klausur (Subkategorie 2.2.3) und die zur Verfügung stehende Unterrichtszeit (Subkategorie 2.2.9) am stärksten handlungssteuernd.

„Die Stundenplanung war tatsächlich *von Sachzwängen geprägt*. Eben dadurch, dass wir *die Klausur vor der Brust* hatten. //I: Ah, okay.// Ehm, mussten wir jetzt eben auch üben. [...] *Damit die [Schüler*innen] mit der Elektronenbeugung rechnen konnten*“ (SR1, 65).

Weiterhin gibt Lenz an, kaum Zeit für die Unterrichtsplanung zu haben (Subkategorie 2.2.10), was in ihrer kurzfristigen Übernahme des Leistungskurses als Vertretungslehrerin begründet liegt.

Hinsichtlich der *Vorstellungen zum Lehren und Lernen* verfolgt Lenz im Unterricht eine fachsystematische Reihenfolge (Subkategorie 1.4), in der Experimente das zentrale Element darstellen (Subkategorie 1.6):

„Ich versuche halt auch anhand *von diesen zentralen Experimenten*, die wir in der Oberstufe haben, auch so ein bisschen die historische Entwicklung und den Gedankengang in der Physik nachzuvollziehen. *Und deswegen finde ich, dass das Experiment zentral ist. Von dem geht alles aus*“ (I1, 44).

Dabei geht sie wenig auf das Vorwissen der Schüler*innen (Subkategorie 1.3) ein und legt wenig Wert auf eine Motivierung der Schüler*innen (Subkategorie 1.5). Statt einer pädagogisch orientierten Grundposition überwiegt daher bei Lenz eine fachliche Orientierung.

Ihr *Vorgehen bei der Unterrichtsplanung* zeichnet sich durch ein routiniertes, pragmatisches Verhalten (Subkategorie 2.1.3) aus. Es bleibt offen, inwiefern Lenz dabei offen für neue Zugänge ist (Subkategorie 2.1.1).

Die fachdidaktische Reflexion ihres Unterrichts ist wenig tiefgreifend und bezieht kaum die Perspektive der Schüler*innen ein (Subkategorie 6.1.1):

„Habe mir das Curriculum angeguckt. War auch, ehm, von der Reihenfolge her den recht zufrieden damit. *Und einige Sachen, die ich vom Gefühl her anders erklären würde, habe ich dann eben auch rausgenommen und, ehm, das dann anders gemacht.* Zum Beispiel die, ehm, Röntgenröhre sollte noch zwischendrin kommen. Das habe ich dann rausgenommen und mache das jetzt eben //I: Später sozusagen.// jetzt im Atomphysikbereich. [...] Weil das einfach für mein Gefühl nicht in der [Quantenphysik] hingehört (beide lachen). Ich bin da mehr so der Gefühlstyp“ (I2, 17ff.).

Fachlich reflektiert Lenz hingegen tiefgreifend bspw. über die fachliche Klärung der Quantenphysik (Subkategorie 6.1.2).

Bei ihren *Zielen der Quantenphysik im Physikunterricht* betont sie sehr Interpretationsfragen und den indeterministischen Charakter der Quantenphysik. Unter *Schwierigkeiten beim Unterrichten von Quantenphysik* führt Lenz keine Schülervorstellung zur Quantenphysik auf, sondern benennt lediglich allgemein Schwierigkeiten beim Aufzeigen eines kognitiven Konflikts für Schüler*innen.

Weiterhin lassen sich mehrere *Vorstellungen zur Materialnutzung* bei Lenz feststellen: *3.1.1 Erfolgreiche Erprobung kein Qualitätsmerkmal*, *3.1.3 Anpassungen nötig*, *3.1.5 Baukasten-Prinzip* und *3.1.6 Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen bzw. Stil*. Dabei hängen die letzteren beiden zusammen, da sich Lenz eine modulare Bereitstellung von Materialien wünscht, damit sie

diese in ihr eigenes Vorgehen integrieren kann. Neben einem großen Autonomiebestreben kann aus den verschiedenen Vorstellungen auch eine gewisse Bereitschaft, Materialien zu adaptieren und weiterzuentwickeln, abgeleitet werden.

Unter den *inhaltlichen Materialnutzungskriterien* dominiert bei Lenz ein gutes Angebot an Aufgaben (Subkategorie 3.2.5). Durch geeignete Aufgaben versucht sie ihre Schüler*innen gut auf anstehende Klausuren (Subkategorie 2.2.3) und auf das Abitur (Subkategorie 2.2.2) vorzubereiten: „Ich versuche natürlich dann auch jetzt mit fortschreitender Zeit, mich an den Abituraufgaben zu orientieren“ (SR1, 85).

Hinsichtlich der *formalen bzw. pragmatischen Materialnutzungskriterien* stellt ein möglichst geringer Arbeitsaufwand (Subkategorie 3.3.1) das wesentliche Auswahlkriterium für Lenz dar. Das geht mit ihrem pragmatischen Vorgehen bei der Unterrichtsplanung konform, steht allerdings im Widerspruch zu ihrer Vorstellung zur Materialnutzung *3.1.3 Anpassungen nötig*. Die Reduktion des Arbeitsaufwands ist vermutlich im Berufsalltag von Lenz stärker handlungsleitend:

- „Also ich setzte manche Sachen nicht ein, *weil mir das zu aufwändig ist, das dann zu realisieren*“ (I2, 79).
- „Aber man kann einfach *nicht für jede Stunde sich wieder was neu überlegen*. Und ich finde auch, *bewährte Sachen kann man auch einfach so mitnehmen*“ (SR1, 25).

Als *Materialien zur Unterrichtsvorbereitung oder im Unterricht* greift sie primär auf ihre eigene Materialsammlung (Subkategorie 3.4.3) oder das Internet (Subkategorie 3.4.2), insbesondere LEIFIphysik, zurück. Sie gibt an, daraus vor allem Aufgaben zu nutzen. Dies begründet sie mit der Zugänglichkeit der Materialien und der großen Auswahlmöglichkeit. Es fällt auf, dass Lenz nach eigenen Angaben weder Lehrbücher, Fortbildungen noch Handreichungen konsultiert. Sie gibt an, kaum Zeit zum Selbststudium (Subkategorie 3.5.5) zu haben.

Sie hat eine eher kritische *Haltung gegenüber MILQ*. Ihr größter Kritikpunkt ist das zu hohe Anforderungsniveau (Subkategorie I). Mit einer relativen Nennungshäufigkeit von 34 ‰ hebt sie sich diesbezüglich deutlich von den durchschnittlichen 11 ‰ ab. Sie führt das erhöhte Anforderungsniveau primär auf die Darstellung und den Umfang von MILQ zurück. Weiterhin kritisiert sie die Reihenfolge der Themen in MILQ:

„Also es sind auch genau die zentralen Fragestellungen der Quantenmechanik angesprochen. Aber eben auf einem zu hohem Niveau. Und eben *in der falschen Reihenfolge quasi*“ (I2, 69).

Lenz führt auch konkret aus, was ihr an der Reihenfolge missfällt:

„Das Material ist eher *aus der Sicht des Wissenden gemacht*. [...] Das ist so, als wenn ich sage, *ich kenne den Mörder und gucke mir jetzt an, woran hätte ich jetzt finden können, dass er der Mörder ist*. Das ist beim Krimi genauso blöd, finde ich, wie bei Unterrichtsmaterial“ (I2, 53ff.).

Dabei bezieht sich Lenz u.a. auf das Kapitel 1, welches mit dem Titel *Der Photoeffekt: Licht löst Elektronen aus Metalloberflächen* überschrieben ist und damit die Überschrift ihrer Meinung nach die Deutung des Hallwachs-Versuches bereits vorwegnimmt.

Nichtsdestotrotz findet sie den Lehrtext in MILQ für ihre eigene fachliche Unterrichtsvorbereitung gut geeignet (Subkategorie a): „Das [Kapitel 2 zur Präparation] finde ich toll. Und das hat mir auch noch einmal geholfen, *mir darüber klarzuwerden, was das denn heißt*“ (SR1, 125). Gleichwohl sie das Kapitel 2 für Schüler*innen als nicht geeignet einschätzt, betont sie in ihrem Unterricht den indeterministischen Charakter der Quantenphysik und sucht dazu Aufgaben aus LEIFIphysik heraus. Es kann nicht abschließend geklärt werden, ob dieses Herausarbeiten des Indeterminismus von Lenz auf ihre vorherige Auseinandersetzung mit MILQ zurückzuführen ist oder ob dies ihrem üblichen Vorgehen entspricht.

Es ist insofern überraschend, dass Lenz MILQ für ihre eigene fachliche Vorbereitung nutzt, da sie in Bezug auf ihre allgemeine Materialnutzung der Subkategorie *3.5.5 Keine bzw. kaum Zeit zum Selbststudium* zugeordnet wurde. Möglicherweise setzt Lenz sich aufgrund der Studienteilnahme intensiver mit MILQ auseinander, als sie dies üblicherweise mit neuen Materialien täte. Eine andere Interpretation ist, dass dies darauf zurückzuführen ist, dass sie das erste Mal Quantenphysik im Leistungskurs unterrichtet:

I: „War das für dich noch eine Belastung, dich jetzt da noch mit diesem Ordner [gemeint ist MILQ] auseinanderzusetzen?“

B: „Nein, mh-mh (verneinend). *Weil ich mich ja sowieso nochmal in die Quantenmechanik reindenken musste, war das für mich keine Belastung*“ (I2 72f.).

Dementsprechend steht sie der Umsetzung von Auszügen aus MILQ abgeschlossen gegenüber.

„[A]uch *gerade diese Idee mit dem Interferometer*, das so aufzubauen. Das hat mir auf jeden Fall noch mal neue Ideen gegeben, wie man die Knackpunkte der Quantenmechanik den Schülern nochmal näherbringt“ (I2, 67).

Es bleibt allerdings bei der Umsetzung der Idee des Mach-Zehnder-Interferometers mit der dazugehörigen Simulation. Trotz ihrer Fokussierung auf

Aufgaben geht Lenz weder auf die in MILQ enthaltenen Aufgaben ein noch setzt sie welche im Unterricht um.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Lenz durch die kurzfristige Übernahme des Physik-Leistungskurses kaum Zeit für eine Reihenplanung blieb. Ihre Vorstellungen zum Lehren und Lernen sind durch die Fachsystematik und die Abhandlung von Experimenten geprägt. Für die Materialauswahl sind für Lenz das Üben von Aufgaben und ein geringer Arbeitsaufwand in der Vorbereitung handlungsleitend. Sie setzt sich intensiv mit MILQ auseinander, wobei sie aufgrund ihrer fachlich orientierten Grundposition eine primär fachsystematische Perspektive einnimmt. Sie schätzt zwar die Betonung des Indeterminismus der Quantenphysik in Kapitel 2 als hilfreich ein, geht aber auf weitere Aspekte der fachdidaktischen Innovation von MILQ wie bspw. der Betonung von Deutungsfragen nicht ein. Insgesamt nutzt sie nur wenige Elemente aus MILQ und integriert diese in ihre Unterrichtsreihe. Es scheint, dass der Austausch mit Schneider, die an der gleichen Schule wie Lenz unterrichtet und ebenfalls an der Studie teilnimmt, ihr Nutzungsverhalten von MILQ beeinflusst hat.

8.3.5. Carolin Schneider

Schneider benennt als einschränkende *Planungskriterien/Rahmenbedingungen* die Vorgaben durch den Lehrplan (Subkategorie 2.2.2) mit einer überdurchschnittlichen relativen Nennungshäufigkeit. Darüber hinaus führt sie die technische Ausstattung ihrer Schule für den Einsatz digitaler Medien (Subkategorie 2.2.5) mit einer relativen Nennungshäufigkeit von 58 % im Vergleich zum Durchschnitt von 9 % sehr oft an. Sie berichtet, dass an ihrer Schule kein WLAN verfügbar sei, weshalb Simulationen nur als Offline-Variante oder online vom Frontcomputer aus durchgeführt werden können oder eine Reservierung des Computerraums erforderlich ist. Weiterhin bestehen nach ihren Angaben Schwierigkeiten mit der Farbdarstellung des Beamer: „Dann wollte ich denen einen kurzen Ausschnitt zeigen von so einem Video, da war alles pink“ (I2, 214). Diese Umstände schränken Schneider ihren Angaben zufolge in ihrer Unterrichtsgestaltung ein. Als weitere Rahmenbedingungen nennt Schneider die Subkategorien 2.2.7 *Nur wenig Schülerversuche für die Oberstufe* und 2.2.8 *Kaum Experimente zur Quantenphysik*, welche nur von einer weiteren Person (Peters) beide aufgezählt werden und auf einen hohen Stellenwert des Experiments für die jeweilige Lehrkraft hindeuten.

Es ist bezeichnend, dass Schneider als einzige der teilnehmenden Lehrkräfte in Bezug auf ihre *Vorstellungen zum Lehren und Lernen* als nicht lehrergelenkt eingestuft wird (Subkategorie 1.2). Ihre Vorstellungen zum Lehren und Lernen sind insgesamt sehr pädagogisch und kaum fachlich orientiert.

Das ist vor dem Hintergrund ihres Quereinstiegs ungewöhnlich, da insbesondere Quereinsteiger*innen für das Fach Physik ohne Physikstudium häufig transmissive Vorstellungen aufweisen (Oettinghaus et al., 2016). Hierbei unterscheidet sich Schneider deutlich von den beiden anderen Quereinsteigern aus der Studie, Peters und Schmidt.

Weiterhin ist der Einsatz von Experimenten für Schneider teilweise handlungsleitend, was sich ebenfalls in den von ihr als limitierend wahrgenommenen Rahmenbedingungen niederschlägt. Aufgrund widersprüchlicher Aussagen wird sie allerdings in Bezug auf Subkategorie 1.6 *Experiment handlungsleitend* als nicht klassifizierbar eingestuft.

Ihr *Vorgehen bei der Unterrichtsplanung* zeichnet sich durch eine Offenheit für neue didaktische Zugänge (Subkategorie 2.1.1) aus, um „den Unterricht immer wieder zu überarbeiten und, ehm, halt, ja, neue Aspekte reinzubringen oder Dinge anders zu machen“ (I1, 10). Dazu scheut sie keinen zusätzlichen Arbeitsaufwand und benötigt nicht notwendigerweise einen konkreten Anlass (Subkategorie 2.1.3).

Ihre *Reflexion* fällt hinsichtlich sowohl der fachdidaktischen, fachlichen als auch unterrichtspraktischen Perspektive (Subkategorien 6.1.1 - 6.1.3) eher oberflächlich und beschreibend aus. Ihre Handlungsentscheidungen für einen schüleraktivierenden, phänomenorientierten Unterricht werden oftmals nicht aus lernförderlicher Sicht begründet, sondern deuten auf eine Handlungsorientierung „Schüleraktivität als bloße Beschäftigung“ (Fischler, 2000b, 79) hin:

I: „Und *warum hast du dich dann für die Simulation entschieden?* [...] Weil den Photoeffekt könnte man ja auch so durchführen.“

B: „Ja, weil ich eigentlich wollte, *dass die Schüler das mal selber machen.*“

//I: Ja, mh. Kann ich gut verstehen.// Also weil, das Problem ist ja bei den Versuchen, dass die da ehm eigentlich nichts machen können. [...] *Das ist nicht so der Brüller.* Und ehm da habe ich gedacht, *wenn sie so eine Simulation haben, dann können sie am Rechner arbeiten*“ (SR1, 128f.).

Überdies antwortet Schneider auch in Bezug auf andere Aspekte ihres Unterrichts teilweise wenig reflektiert. Bspw. erkennt sie zwar beim Vorspielen eines Videoprompts im Stimulated-Recall-Interview einen Bruch in der Argumentationslinie des Unterrichtsverlaufs, allerdings analysiert sie diesen nicht genauer oder benennt ein alternatives Vorgehen:

I: „(Nach Abspielen des Videoprompts) Auch hier würde mich einfach interessieren, was war dir sozusagen wichtig an dieser Phase im Unterricht?“

B: „Ja, *ich fand das eigentlich jetzt ziemlich schlecht* (lacht).“

I: „Ja? Okay, warum?“

B: „Ja weil, (...) ja, *weil ich gerade jetzt das ehm Gefühl hatte ehm, die Überleitung war blöd.* Aber ich meine, eigentlich ist es ja klar, dass man so Nacht-

sichtgeräte nicht auseinander bauen kann. Aber ehm, ich weiß nicht. Also. [...]“

I: „Aber, also hättest du jetzt einfach auch spontan eine Idee, wie du es gerne besser gemacht hättest?“

B: „(...) Mh (nachdenklich). (...) *Wie hätte man das besser machen können? Im Grunde genommen müssen sie ja das jetzt auswerten*“ (SR1, 75ff.).

Auch auf unterrichtspraktischer Ebene fällt Schneider aufgrund ihres wenig strukturierten Vorgehens auf. Sie kommt bspw. zu Beginn einer Unterrichtsstunde durcheinander, mit welchem ihrer beiden Grundkurse sie welche Simulation schon bearbeitet hat:

„[N]ormalerweise schreibe ich mir das im Kursheft immer auf und da habe ich aber dann nur „Simulation“ stehen gehabt, also nicht mal welche. *Und ich hatte mir das überhaupt nicht notiert. Und dann hatte ich gedacht, so ein Scheiß (kichert)*“ (SR1, 32).

Möglicherweise ist diese geringe Reflexionstiefe auf Schneiders Werdegang zurückzuführen, da sie als promovierte Chemikerin weder Lehramt noch Physik studierte. Da sie jedoch an ihrer Schule als Ausbildungsbeauftragte für die Referendar*innen zuständig ist und daher vielen Unterrichtsbesuchen und -reflexionen beiwohnt, ist es dennoch überraschend, dass sie den eigenen Unterricht wenig tiefgreifend reflektiert.

Schneiders *Ziele der Quantenphysik im Physikunterricht* weichen nicht wesentlich vom Durchschnitt ab. Erwähnenswert ist, dass sie in ihrem Grundkurs die Unbestimmtheitsrelation behandelt, obwohl diese laut Lehrplan nicht vorgegeben ist.

Als *Vorstellungen zur Materialnutzung* werden bei Schneider *3.1.3 Anpassungen nötig* und *3.1.6 Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen bzw. Stil* festgestellt. Erstere hängt vermutlich mit ihrer pädagogisch orientierten Grundposition und ihrem wenig pragmatischen Vorgehen zusammen.

Für Schneider sind in Bezug auf die *inhaltlichen Materialnutzungskriterien* ein gutes Angebot an Aufgaben (Subkategorie 3.2.5), für Schüler*innen angemessene Anforderungen (Subkategorie 3.2.9) und ein Bezug zur Lebenswelt der Schüler*innen (Subkategorie 3.2.13) besonders relevant, was ihre pädagogisch orientierte Grundposition unterstreicht.

In Bezug auf *formale bzw. pragmatische Materialnutzungskriterien* überwiegt bei ihr die Subkategorie *3.3.4 Digitale Medien* mit einer relativen Nennungshäufigkeit von 61% im Vergleich zum Durchschnitt von 25%. Das ist u.a. auf ihre Aktivitätsorientierung zurückzuführen, wonach sie häufig Simulationen zur Schüleraktivierung einsetzt. Dies wird allerdings durch die Ausstattung ihrer Schule (Subkategorie 2.2.5) limitiert. Interessant ist weiterhin, dass sie als einzige Lehrkraft das Kriterium *3.3.1 Arbeitserleichterung/geringer Arbeitsaufwand* nicht nennt. Dieser Umstand passt zu ih-

rer Bereitschaft, Zeit in die Unterrichtsplanung zu investieren (Subkategorie 2.1.3).

Schneider nutzt vielseitige *Materialien zur Unterrichtsvorbereitung oder im Unterricht*. Am häufigsten nennt sie das Internet, was mit ihrer Vorliebe für digitale Medien zusammenhängt. Weiterhin greift sie in ihrer Unterrichtsplanung viel auf verschiedene Schulbücher zurück.

Anhand Schneiders genannten *Gründen für das Selbststudium* offenbart sich erneut ihre neugierige und offene Haltung, sich auch ohne konkreten Anlass weiterzubilden:

„[D]ass man offen ist auch für neue ehm Informationen, das ist ein wichtiges Kriterium, finde ich. Weil *die Wissenschaft bleibt nicht stehen*. [...] [A]uch jetzt hier mit den *Gravitationswellen* zum Beispiel, das sind ja so Sachen, die ich finde, das ist halt wichtig, *dass das auf jeden Fall wieder mit in den Unterricht reingetragen wird*“ (I1, 51).

Weiterhin ist Schneider bemüht, nach Alltagsbezügen und Kontexten zu recherchieren (vgl. Subkategorie 3.2.13), um ihre Schüler*innen zu motivieren.

Bei Schneiders *Rezeption von MILQ* überwiegt zwar quantitativ ihre Kritik an MILQ, aber anhand der inhaltlichen Gewichtung wird deutlich, dass Schneider insgesamt eine hohe Meinung von MILQ hat. Sie kritisiert an MILQ allerdings, dass es zu anspruchsvoll sei (Subkategorie l) und nicht zu ihrem schulinternen Curriculum passe (Subkategorie m):

„Ehm ja, also ich finde das/ *grundsätzlich finde ich das total super*, wie das aufgebaut ist. Aber, jetzt kommt das große Aber, ehm so vom Aufbau her und teilweise auch vom Anspruch her für uns ehm passt das halt/ also *vom Aufbau her passt das nicht so ganz zu unserem Curriculum*, was wir haben“ (I1, 83).

Weiterhin ist für Schneider die Funktion bestimmter Elemente nicht ersichtlich, wie aus der folgenden, an die Interviewerin gerichteten Frage deutlich wird (I1, 87): „[H]attest du das so gedacht, dass die Schüler auch diese Sachen als Information bekommen, dass man denen das kopiert als Infotext dann, oder?“ Darüber hinaus berichtet Schneider, dass sie durch MILQ nichts Neues dazugelernt hätte (Subkategorie a).

Sie lobt die in MILQ bereitgestellten Elemente für den direkten Einsatz im Unterricht, insbesondere Aufgaben. Daher ist es bemerkenswert, dass Schneider nur ein Arbeitsblatt und keine Simulation aus MILQ nutzt, obwohl sie den Doppelspalt-Versuch mithilfe einer Simulation behandelt. Schneider berichtet, die Simulation zum Photoeffekt aus MILQ auf ihrem Computer nicht hätte starten zu können, weshalb sie sich mit den weiteren Simulationen aus MILQ ebenfalls nicht auseinandersetzt. Sie nutzt den Lehrtext als Anregung und bespricht auf dieser Grundlage das Mach-Zehnder-Interferometer, was

für einen Grundkurs ungewöhnlich ist. Schneider beschreibt ihre Nutzung von MILQ wie folgt:

„*Schnipsel sozusagen daraus nehmen, dann ne, wenn man die dann irgendwie braucht. Weil wir haben, wie gesagt, im Moment auch das so ein bisschen das Problem, deswegen suche ich ja immer auch in verschiedenen Büchern oder so und stelle mir selber was zusammen*“ (I1, 89).

Damit beschreibt sie eine modulare Nutzung von MILQ, obgleich sie dieser Vorstellung zur Materialnutzung unter Kategorie 3.1 nicht zugeordnet wurde. Eine Umsetzung des zugrundeliegenden Konzepts von MILQ findet folglich nicht statt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Schneider offen gegenüber neuen Ansätzen ist und Materialien oftmals weiterbildend nutzt. Sie reflektiert jedoch fachdidaktisch wenig aufgeklärt und weist aktivitätsorientierte Tendenzen auf. Sie steht MILQ aufgeschlossen gegenüber, moniert allerdings die mangelnde Passung zu ihrem schulinternen Curriculum. Schneider setzt sich lediglich mit der Sichtstruktur von MILQ auseinander, wobei sie das fachdidaktische Innovationspotential von MILQ nicht erkennt. Sie setzt im Unterricht nur einige wenige Elemente aus MILQ um, was ihren Schilderungen zufolge ihrem typischen Umgang mit materialgestützten Unterrichtskonzeptionen entspricht. Die Absprache mit Lenz während der Unterrichtsplanung scheint keinen großen Einfluss auf ihre Nutzung von MILQ zu haben.

8.3.6. Marcel Leinert

Leinert nennt als *Planungskriterien/Rahmenbedingungen* überdurchschnittlich häufig die zur Verfügung stehende Unterrichtszeit (Subkategorie 2.2.9), was darauf zurückzuführen ist, dass Leinert im ersten Schulhalbjahr sechs Wochen krank war und daher viel Physikunterricht in seinem Grundkurs ausfiel. Darüber hinaus sind für sein professionelles Handeln die Vorgaben durch den Lehrplan (Subkategorie 2.2.2) sowie die zeitlichen Ressourcen für die Unterrichtsplanung (Subkategorie 2.2.10) relevant: „Es gibt einfach *Phasen, wo man einfach nur so vor sich hin kämpft*, von Stunde zu Stunde, von Woche zu Woche“ (I2, 76). Daher plant er seine Unterrichtsreihen in der Regel in den Schulferien.

Leinerts *Vorstellungen zum Lehren und Lernen* können insgesamt zu einer sehr ausgeprägten pädagogisch orientierten und wenig bis mittel ausgeprägten fachlich orientierten Grundposition zusammengefasst werden. Dies äußert sich z.B. darin, dass Leinert den eigenen Angaben zufolge darauf bedacht ist, im Unterricht viele verschiedene Sozialformen wie Gruppenpuzzle, Diskussionsrunden, Internetrecherchen, Stationenlernen, Referate etc. einzusetzen. Sein Unterricht soll handlungsorientiert, kontextbasiert und phä-

nomenbasiert sein, wobei der Einsatz von Experimenten für ihn eine handlungsleitende Rolle einnimmt (Subkategorie 1.6).

Sein *Vorgehen bei der Unterrichtsplanung* beschreibt Leinert als didaktisch innovationsbereit (Subkategorie 2.1.1), was von Zeit zu Zeit, wie bei Schneider, in einer aufwändigen Unterrichtsvorbereitung mündet (Subkategorie 2.1.3).

Seine fachdidaktische *Reflexion* ist eher tiefgreifend (Subkategorie 6.1.1). Er stellt viele Überlegungen an, die Schüler*innen zu motivieren, in den Unterricht einzubeziehen und im Lernprozess zu unterstützen. Trotz dieses verständnisorientierten Ansatzes legt Leinert in seinem Unterricht großen Wert auf die Erarbeitung quantitativer Zusammenhänge. Bspw. lag der Schwerpunkt der Unterrichtsstunde, in der Leinert seinen Schüler*innen zum ersten Mal Interferenzerscheinungen von Elektronen vorführte, auf der Berechnung der Wellenlänge der Elektronen: „Hier ging es erst einmal nur um die Interferenz, das heißt, das, was wir berechnen können. Weil ich hier immer schwierig etwas absetzen kann. Klausuren etc.“ (I2, 48). Die Erarbeitung eines qualitativen Konzeptverständnisses, dass es bspw. erstaunlich ist, dass Elektronen Welleneigenschaften zeigen, rückte in den Hintergrund. Leinert schildert, dass er seinen Unterricht diesbezüglich in den ersten Berufsjahren anpasste:

„*Am Anfang* [meiner Laufbahn] habe ich sehr, sehr offen, *sämtliche Aufgaben offen gestellt*. Ehm und ich bin wesentlich *mehr zur Leistungsbeurteilung gekommen*, also beziehungsweise *zu Dingen, die man wirklich kontrollieren kann*“ (I1, 26).

Fachlich ist Leinerts Reflexion auf einem eher oberflächlichen Niveau einzuordnen (Subkategorie 6.1.2), da er in den beobachteten Unterrichtsstunden fachliche Fehler begeht bzw. ungünstige Elementarisierungen nutzt, die zu Verständnisschwierigkeiten bei den Schüler*innen führen, wie aus den Unterrichtsvideographien hervorgeht. Leinert merkt an, in einer Unterrichtsstunde „auf dem Schlauch“ (SR1, 65) gestanden zu haben, wobei er auch im Nachhinein kein alternatives Vorgehen benennt.

Tatsächlich zeigt Leinert niedrige *Selbstwirksamkeitserwartungen beim Unterrichten von Quantenphysik* (Subkategorie 5.1) aufgrund fachlicher Unsicherheiten. Er fühlt sich durch sein Studium fachlich nicht gut auf den Schulunterricht vorbereitet, was bei ihm zu einer erhöhten Bereitschaft führt, sich mit Quantenphysik auseinanderzusetzen:

„In diesem Bereich, denke ich mir einfach mal, ist jetzt die Zeit da, dass ich mich jetzt einfach mal *mit dem Themenbereich [Quantenphysik] besser, genauer auseinandersetze*. [...] [E]s ist *nicht der Bereich, wo die größte Expertise ist*“ (I1, 14).

Leinerts bereits angesprochener Fokus auf quantitative Berechnungen spiegelt sich ebenfalls in Kategorie 5.5 *Stellenwert der Mathematik* wider. Obgleich er angibt, geringe mathematische Anforderungen an seine Schüler*innen zu stellen, überwiegen bei ihm Nennungen zu einer mathematischen Herangehensweise an die Quantenphysik (Subkategorie 5.5.1), womit er sich (als Grundkurs-Lehrkraft) von der restlichen Stichprobe abhebt.

Leinert listet von allen teilnehmenden Lehrkräften am wenigsten *Schwierigkeiten beim Unterrichten von Quantenphysik* auf und sagt zu möglichen Lernschwierigkeiten in der Quantenphysik:

„*Nein. Weil Kinder da noch anders denken. Wenn ich es jetzt einem Erwachsenen erklären würde, der würde einfach sagen: „Okay aha, das ist eine andere Welt.“ Schüler würden es jetzt erst mal so hinnehmen*“ (II, 108).

Damit deutet Leinert an, dass Schüler*innen womöglich nicht den Gegensatz zur klassischen Physik und damit die Besonderheit der Quantenphysik erkennen. Gleichzeitig unterschlägt er, dass die bisherige Denkweise der Schüler*innen mögliche Schülervorstellungen hervorrufen könnten. Aus fachdidaktischer Perspektive kann diese Einschätzung folglich als wenig differenziert bewertet werden.

Es können bei Leinert die *Vorstellungen zur Materialnutzung 3.1.3 Anpassungen nötig* und *3.1.6 Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen bzw. Stil* festgestellt werden, womit es sich um die gleiche Kombination von Vorstellungen wie bei Schneider handelt. Interessant ist, dass sich Leinert explizit gegen eine modulare Bereitstellung von Materialien ausspricht und betont, dass ihm die Einbettung bspw. von Applets in ein Konzept wichtig sei (gegenüber Subkategorie 3.1.5).

In Bezug auf die *inhaltlichen Materialnutzungskriterien* sind Leinert angemessene Anforderungen für die Schüler*innen (Subkategorie 3.2.9) und die Interessenförderung (Subkategorie 3.2.13) am wichtigsten. Auch hier sind Parallelen zu Schneider zu erkennen.

Es fällt auf, dass Leinert gleich viele Aussagen zu inhaltlichen sowie zu *formalen Kriterien der Materialnutzung* tätigt. Er betont insbesondere eine kompakte Darstellung (Subkategorie 3.3.6), um seine Schüler*innen nicht mit irrelevanten Informationen zu überfordern. Insofern führt er durchaus auch inhaltliche Gründe für seine angegebenen formalen Kriterien an. Weiterhin legt er viel Wert auf die Bereitstellung digitaler Medien (Subkategorie 3.3.4).

Wie Schneider nutzt Leinert viele verschiedene *Materialien zur Unterrichtsvorbereitung oder im Unterricht*. Da er viele Materialien wie Arbeitsblätter selber entwickelt, greift er vor allem auf seine eigene Materialsammlung (Subkategorie 3.4.3) zurück. Das Schulbuch (Subkategorie 3.4.1) konsultiert er eher selten: „Das habe ich weitestgehend gestrichen, das Schulbuch,

für mich“ (SR 2, 56). Das begründet Leinert damit, dass er die „Gewichtung“ (SR2, 58) anders setzen würde.

Weiterhin führt Leinert viele *Gründe für das Selbststudium* an. Im Gegensatz zu den anderen teilnehmenden Lehrkräften erwähnt Leinert dabei überdurchschnittlich häufig die fachliche Vorbereitung durch Materialien (Subkategorie 3.5.2). Darüber hinaus recherchiert er analog zu Schneider viel nach Kontexten und Alltagsbezügen:

„Ich habe dort, suche ich immer noch *nach Anwendungen*. Hm, also ich finde zum Beispiel die Verschlüsselung interessant, *Quantenverschlüsselung*. Dann finde ich, *ich habe noch viele Bücher gelesen über Quantenbiologie*“ (I2, 92).

Im Folgenden wird Leinerts *Rezeption und Nutzung von MILQ* vorgestellt. Leinert kannte bereits vor Studienbeginn das Unterrichtskonzept zur Quantenphysik für die 10. Klasse nach Schorn und Wiesner (2008), welchem der gleiche Lernansatz wie MILQ zugrundeliegt. Insofern stellt MILQ für Leinert keinen neuen Unterrichtsansatz dar. Insgesamt überwiegt bei ihm eine positive Einschätzung von MILQ. Kritisch merkt er lediglich fehlende Anwendungsbeispiele (Subkategorie c) an, was auf seine Fokussierung auf kontextorientierten Unterricht und auf seine handlungsorientierte Haltung dem Experiment gegenüber zurückzuführen ist. Lobend hebt er vor allem die enthaltenen Simulationen (Subkategorie c) und die aus seiner Sicht gelungenen Erklärungen (Subkategorie l) hervor.

„Diese *Infomaterialien sind flexibel einsetzbar*, zu einem bestimmten Zeitpunkt rauszuholen, *weil sie ja schon mal vorhanden sind*. [...] Die Arbeitsblätter sind gut auf diese und auch das Skript sind gut auf die Visualisierung zugeschnitten. [...] Immer wieder abwechselnd Text, Bildschirmfotographie ist sehr mühsam herzustellen und *ich bin froh, dass es das gibt*“ (I1, 86).

Dementsprechend setzt er die Simulation zum Doppelspalt und mehrere Arbeitsblätter aus MILQ im Unterricht um. Weiterhin findet er die Einführung des Präparationsbegriffs in Kapitel 2 (Subkategorie m) „sehr gut, wirklich gut“ (I2, 64). Allerdings führt er ihn nicht im Unterricht ein, was er auf die begrenzte Unterrichtszeit zurückführt. Weiterhin gibt Leinert an, MILQ gut für seine fachliche Vorbereitung (zukünftig) nutzen zu können (Subkategorie a):

„Also für mich war dann die Quantenphysik, die immer noch *seltsamen Eigenschaften der Teilchen, die immer noch, also die für mich immer noch sehr abstrakt sind*. [...] Von daher war *sehr, sehr viel für mich [aus MILQ] neu*. Also ehm, dass das so schön fachsystematisch aufgearbeitet wurde und mit

so tollen Schlagworten auch versehen wurde, *macht mir sehr viel, macht mir sehr viel Mut, dass ich das auch irgendwann besser durchblicke*“ (I2, 82).

Es zeigt sich, dass MILQ ihm Sicherheit bezüglich seiner Selbstwirksamkeit zum Unterrichten von Quantenphysik gibt.

Insgesamt geht er jedoch wenig auf das fachdidaktische Innovationspotential von MILQ ein. Er scheint sich kaum mit dem zugrundeliegenden Konzept zu beschäftigen – in dem Zusammenhang scheint seine Kenntnis über die Unterrichtskonzeption zur Sek I keinen Unterschied auf seine Auseinandersetzung mit MILQ zu machen. Leinert fasst seine Umsetzung folgendermaßen zusammen:

„Genau, also *ich bin halt vorher diesen Ordner [von MILQ] durchgegangen und habe geschaut, was kann ich davon brauchen. [...] Welche Materialien sind hier aus diesem brauchbar, welche musste ich selbst erstellen*“ (I2, 36).

Eine Umsetzung des zugrundeliegenden Konzepts erfolgt dementsprechend nicht.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Leinert viele Gemeinsamkeiten mit Schneider aufweist. Er ist sehr pädagogisch orientiert und strebt einen kontextorientierten Unterricht an. Weiterhin ist er sehr wissbegierig und investiert viel Zeit in die Auseinandersetzung und Adaption von Materialien. Seine Begründungen für Handlungsentscheidungen sind allerdings teilweise aus fachdidaktischer Perspektive als wenig aufgeklärt zu bewerten, obschon er durchaus auch fachdidaktisch tiefgreifend reflektiert. Darüber hinaus berichtet Leinert von fachlichen Unsicherheiten in der Quantenphysik, was seine Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit MILQ erhöht. Insgesamt steht er MILQ aufgeschlossen gegenüber, allerdings setzt er sich nicht mit der Tiefenstruktur des Konzepts auseinander. Daher geht er kaum auf das fachdidaktische Innovationspotential von MILQ ein und setzt die zugrundeliegende Konzeption nicht um. Seine Nutzung von MILQ beschränkt sich auf die Implementierung einzelner Elemente, welche er in seinen Unterricht integriert.

8.3.7. Fabian Krüger

Krüger listet überdurchschnittlich viele verschiedene *Planungskriterien/Rahmenbedingungen* auf, die sein professionelles Handeln bedingen. Entscheidend sind für ihn insbesondere die Lehrplanvorgaben (Subkategorie 2.2.2) und die zur Verfügung stehende Unterrichtszeit (Subkategorie 2.2.9), wobei er sich letztere in der Regel gut einteilen kann, sodass er am Ende der Qualifikationsphase oftmals noch zusätzliche Themen über den Lehrplan hinaus behandelt. Weiterhin kann er aufgrund seiner Tätigkeit als stellvertretender Schulleiter nur wenig Zeit für die Unterrichtsplanung erübrigen

(Subkategorie 2.2.10). Darüber hinaus werden in Mecklenburg-Vorpommern Grundkurs- und Leistungskursschüler*innen gemeinsam unterrichtet, sodass Krügers derzeitiger Physikkurs seinen Angaben zufolge sehr heterogen zusammengesetzt ist. Seine Grundkursschüler*innen bezeichnet er in diesem Zusammenhang als „Grundkursbremsklötze“ (SR 2, 11). Seine Schulleiterin unterrichtet ferner den Parallel-Kurs, weshalb sich beide bei Bedarf gegenseitig vertreten. In diesem Zusammenhang nennt Krüger sie „sein Kontrollletti“ (I1, 42). Überdies berichtet Krüger von einer anderen Schulkultur in Mecklenburg-Vorpommern als in NRW:

„Also weil Sie nach Unterrichtsmethoden gefragt haben, *ich halte so viel eigenständigen Anteil für wichtig*, allerdings muss man berücksichtigen, wie sozusagen die, das Feedback, was die Kinder von ihren Eltern über Schule kriegen, das muss auch passen, sodass *ich hier an der Schule mehr lehrerzentriert arbeiten muss*“ (I1, 72).

Aus dieser Aussage lassen sich weiterhin Krügers *Vorstellungen zum Lehren und Lernen* ableiten. Er kann insgesamt als ausgeprägt pädagogisch orientiert und mittel ausgeprägt fachlich orientiert beschrieben werden. Das Experiment nimmt für ihn keine handlungsleitende Rolle ein, er versucht vielmehr die Interessen und Bedürfnisse seiner Schüler*innen bei seiner Unterrichtsplanung zu berücksichtigen.

Krügers *Vorgehen bei der Unterrichtsplanung* ist pragmatisch, routiniert und improvisierend (Subkategorie 2.1.3), was einen erheblichen Einfluss auf seine Erwartungen an Materialien hat:

„Ja, es muss mir *logisch vorkommen*, es muss relativ, also *es darf für mich keinen großen Aufwand bedeuten*, das wieder so hinzubiegen, dass ich an der Stelle einsteigen kann. Und das war es eigentlich“ (I1, 111).

Aufgrund seines improvisierenden Vorgehens verfügt Krüger über keine ausgearbeiteten Unterrichtsreihen aus den vergangenen Jahren: „[W]äre man ein bisschen ordentlicher, könnte man vielleicht auch Zeit sparen“ (I1, 129). Weiterhin steht er zwar neuen didaktischen Entwicklungen grundsätzlich aufgeschlossen gegenüber, kann aber aufgrund seines pragmatischen Vorgehens nicht als didaktisch innovationsbereit bezeichnet werden (Subkategorie 2.1.1).

Seine *Reflexion* des Unterrichts ist fachdidaktisch tiefgreifend (Subkategorie 6.1.1). Bspw. erläutert er, warum er bewusst Abstriche in seinem Unterricht in Kauf nimmt:

„[E]s gibt ja *zwei kleinere Brüche* [in der Unterrichtsstunde], einmal zwischen der, also es wäre nicht ganz rund, wie ich sozusagen von dieser Wiederholungsphase auf das Spiel komme. [...] Und der Übergang von Aufgabe eins zu Aufgabe zwei, also diese Herleitung, die fällt ja irgendwie vom Himmel.

[...] *Ich weiß es, warum ich die mache, weil sie in der Klausur gefragt wird.* Und ich wollte ihnen [den Schüler*innen] sozusagen eine Hilfestellung geben. [...] In einer Vorführstunde eines Referendars hätte man jetzt gesagt: „Pass mal auf, die Stunde (...) Es fehlte etwas. [...]“ Das ist also ein Bruch, zwar geplant, einen Bruch gibt und so. War mir jetzt egal, ehrlich gesagt. Also ich sage es Ihnen ja jetzt hier, ne?“ (SR2, 47f.)

Krüger wirkt darüber hinaus fachlich versiert – stellt allerdings aufgrund seines pragmatischen und improvisierenden Vorgehens teilweise nur wenige Vorüberlegungen zur fachlichen Klärung an, weshalb seine fachliche Reflexion als eher oberflächlich eingestuft wird (Subkategorie 6.1.2). Bspw. ließ er seine Schüler*innen mit einem Fußball auf ein Tor schießen und anschließend die Impulsunschärfe des Fußballs ausrechnen. Auf die Frage, warum er sich für diese klassische Analogie für die Unbestimmtheitsrelation entschied, antwortet Krüger (SR2, 29):

„Aber ehm, ich würde es auch nicht überbewerten, wie viel ich da jetzt sozusagen mir gedacht habe. *Es war der spielerische Aspekt.* Ich wusste, dass es dieses, irgendwie hatte ich mich daran erinnert, dass man das machen kann. Und viel mehr konnte ich jetzt auch nicht rein investieren an Gedanken für die Stunde. Das muss ich ehrlich sagen, *weil ich im Moment organisatorisch so eingebunden bin, dass ich froh bin, wenn die Stunden rum sind,* ehrlich gesagt (beide kichern). Das ist so.“

Krüger weist eine hohe *Selbstwirksamkeit beim Unterrichten von Quantenphysik* auf (Subkategorie 5.1). Er gibt allerdings dennoch an, kein „Universalrezept“ (I1, 170) zu haben.

Bei den von Krüger verfolgten *Zielen der Quantenphysik im Physikunterricht* steht die Erarbeitung des Welle-Teilchen-Dualismus im Vordergrund (Subkategorie 5.3.2). Es fällt auf, dass er als einzige Lehrkraft der Stichprobe den quantenmechanischen Messprozess (Subkategorie 5.3.13) als Ziel benennt. Die Behandlung von Interpretationsfragen (Subkategorie 5.3.6) gibt er allerdings nicht explizit als Ziel an. Seiner Meinung nach kann er aufgrund der begrenzten Unterrichtszeit seinen Schüler*innen ohnedies nur einen ersten Eindruck der Quantenphysik vermitteln:

„Mein Ziel ist eher, *dass die Schüler den einen Konflikt sehen und sich merken: Ich muss mich damit beschäftigen, wenn ich das verstehen will.* Denn im Unterricht allein schaffe ich es nicht. [...] Aber das heißt ja nicht, dass es mir nicht gelingt, die Schüler zu sensibilisieren“ (SR 2, 35).

In Bezug auf den *Stellenwert der Mathematik im Quantenphysikunterricht* tätigt Krüger – anders als die meisten teilnehmenden Lehrkräfte – gar keine Äußerungen zu den Subkategorie 5.5.1 *Mathematisch anspruchsvoll* und

5.5.3 Anpassungen an den Kurs, sondern ausschließlich zu 5.5.2 Geringe mathematische Anforderungen.

Es werden ferner die folgenden *Vorstellungen zur Materialnutzung* bei ihm festgestellt: 3.1.1 *Erfolgreiche Erprobung kein Qualitätsmerkmal*, 3.1.2 *Bevorzugung vertrauter Konzepte* und 3.1.6 *Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen bzw. Stil*. In seinen Vorstellungen konkretisiert sich sein pragmatisches und routiniertes Verhalten.

In Bezug auf die *inhaltlichen Materialnutzungskriterien* führt er ein gutes Angebot an Aufgaben (Subkategorie 3.2.5) und die Förderung des Interesses der Schüler*innen (Subkategorie 3.2.13) am häufigsten an. Alle weiteren inhaltlichen Materialnutzungskriterien scheinen für ihn eine untergeordnete Rolle zu spielen.

Formale bzw. pragmatische Materialnutzungskriterien nennt Krüger seltener als der Durchschnitt. Nichtsdestotrotz wird aus seinen Ausführungen deutlich, dass die Kriterien 3.3.1 *Arbeitserleichterung/geringer Arbeitsaufwand*, 3.3.2 *Geringer Kopieraufwand* sowie 3.3.8 *Verfügbarkeit des Materials* für ihn bei der Materialauswahl hochrelevant sind.

Als *Materialien zur Unterrichtsvorbereitung oder im Unterricht* nutzt Krüger hauptsächlich das Schulbuch (Subkategorie 3.4.1): „Ehrlich gesagt, ist das Meiste, woran ich mich dann entlang hängele, ein vernünftiges Buch“ (I1, 101). Es handelt sich dabei um den Metzler, seinem „Lieblingsbuch“ (I1, 101). Als Gründe führt er ein für Schüler*innen angemessenes Anforderungsniveau, die Vertrautheit mit dem Schulbuch und keinen Kopieraufwand an. Weiterhin greift er, im Vergleich zu den restlichen teilnehmenden Lehrkräften, häufig auf Handreichungen (Subkategorie 3.4.7) zurück, die er vor allem als Aufgabensammlung verwendet.

Insgesamt fällt seine *Einschätzung von MILQ* eher kritisch aus, da das Anforderungsniveau seiner Ansicht nach zu anspruchsvoll ist (Subkategorie 1). Seine Einschätzung basiert auf dem geringen Stellenwert der Mathematik in seinem Quantenphysikunterricht. Darüber hinaus übt Krüger weniger Kritik an den Inhalten als an formalen bzw. pragmatischen Gesichtspunkten von MILQ:

- „ [D]ie Schüler haben ein [Schul-]Buch. Das ist so, das ist für die jetzt sozusagen das Arbeitsmaterial Nummer eins. [...] Das [Unterrichtskonzept MILQ] müsste ich ja streng genommen den Schülern zur Verfügung stellen. Das sind aber //I: Das sind ein paar Seiten, ne? Mh (bejahend).// fünf oder sechs Blätter. Wenn ich jetzt 20 Schüler sage mal sechs Blätter, dann habe ich über 100 Kopien rausgehauen. Und dann muss ich mir die Frage stellen: *Ist das der Mehr-, also ist das so viel Mehrwert, dass ich das mache, als dass ich im Alternativfall das Buch nehme*“ (I2, 54).
- „So also [Kapitel] 6, 7 und 8 [aus MILQ] *kann man nur machen, wenn man genug Zeit hat*“ (I1, 148).

Nichtsdestotrotz fällt seine Gesamteinschätzung von MILQ durchaus positiv aus: „Das war ein ziemlich guter Eindruck“ (I1 141). Er befürwortet die Einführung des Präparationsbegriffs in Kapitel 2 (Subkategorie m), weshalb er dieses Kapitel seinen Schüler*innen kopiert und austeilte. Allerdings geht er aus zeitlichen Gründen darauf nicht weiter im Unterricht ein:

„[A]lso ein Quantenphysiker würde sagen: „Ja, wenn der nicht über Präparation spricht, wie will er denn dann das machen?“ *Ja, mein Gott, dann lasse ich es weg, ich kann es nicht ändern, ne*“ (I1, 105).

Aufgrund der Grundsätzlichkeit seiner Kritik setzt sich Krüger darüber hinaus jedoch nur noch oberflächlich mit MILQ auseinander. Er sieht keinen Mehrwert zum Schulbuch, weshalb er lediglich ergänzend ausgewählte Elemente wie Arbeitsblätter oder die Simulation zum Doppelspaltexperiment im Unterricht implementiert. Offenbar steuern folglich seine Vorstellungen zur Materialnutzung (die Bevorzugung des ihm vertrauten Schulbuches und die Vereinbarkeit mit seinem Stil) seine Nutzung von MILQ: „Die Auswahl erfolgte nicht so sehr nach Schülerkriterien, sondern was gefällt mir besser. [...] Oder was, eh, liegt mir besser und so mache ich das dann“ (I2, 40). Trotz seiner fachdidaktischen Reflexionsfähigkeit richtet er seinen Fokus bei der Auseinandersetzung mit MILQ nicht auf seine Schüler*innen.

Zusammenfassend kann Krüger als pragmatischer, routinierter und eigenständiger Lehrer beschrieben werden. Er verfügt über tiefgreifende fachdidaktische Reflexionsfähigkeiten; in konkreten Handlungssituationen dominiert allerdings sein pragmatisches Verhalten. Grundlegende Kritikpunkte an MILQ wie ein zu hohes Anforderungsniveau und ein zu großer Umfang sowie Krügers zeiteffizientes Vorgehen verhindern eine intensivere Auseinandersetzung und eine umfassendere Implementierung.

8.3.8. Christian Janssen

Janssen nennt als *Planungskriterien/Rahmenbedingungen* die Vorgaben des Lehrplans (Subkategorie 2.2.2) von allen teilnehmenden Lehrkräften mit Abstand am häufigsten (69 % gegenüber durchschnittlich 35 %). In diesem Zusammenhang kommt er auf die Lehrplanumstellung für den Grundkurs in NRW zu sprechen, welche er trotz einiger Vorbehalte akzeptiert, da es seiner Meinung nach ohnedies keine „eierlegende Wollmilchsau“ (SR1, 24) gibt. Weitere relevante Rahmenbedingungen sind für Janssen die zur Verfügung stehende Unterrichtszeit (Subkategorie 2.2.9) und die zeitlichen Ressourcen für die Unterrichtsplanung (Subkategorie 2.2.10). Letztere sind seinen Angaben zufolge aufgrund seiner Fachleitertätigkeit sehr limitiert. Weiterhin wird seine Unterrichtsreihe dadurch gerahmt, dass Janssen Themen aus der Einführungsphase wiederholt und zwischenzeitlich ein Referendar seinen

Grundkurs unterrichtet. Aufgrund dessen verschiebt sich Janssen zufolge der Beginn seiner Unterrichtsreihe zur Quantenphysik um mehr als ein halbes Jahr nach hinten.

Seine *Vorstellungen zum Lehren und Lernen* können als ausgeprägt pädagogisch orientiert sowie mittel ausgeprägt fachlich orientiert beschrieben werden, was sich in einem ausgewogen zielorientierten Unterricht unter Einbezug der Schüler*innen konkretisiert.

„Aber *ich bin schon der Meinung, dass manchmal weniger mehr ist*. Ja? Also ich mache lieber ein bisschen weniger, aber das vernünftig, was die Schüler dann mitnehmen. Als dass ich dann nur sage, okay, ich muss den Stoff und husche dann dadurch und hänge die Schüler alle ab“ (I1, 57).

Es ist auffällig, dass Janssen neben Meyer als einziger Lehrer der Stichprobe als nicht fachsystematisch (Subkategorie 1.4) eingestuft wird, sondern er vielmehr Wert auf die Berücksichtigung der Lernlogik seiner Schüler*innen legt. Die Durchführung von Experimenten ist für ihn ebenfalls nicht handlungsleitend (Subkategorie 1.6). Es ist allerdings bemerkenswert, dass sich Janssen als „Entertainer“ (I1, 61), „Dompteur“ (I1, 65), „Zauberer“ (SR2, 20) und „Eigenbrötler“ (I2, 24) bezeichnet und seinen Unterricht „wie so eine Physikshow“ (SR1, 90) beschreibt. Das erweckt den Eindruck, dass Janssen gerne im Mittelpunkt des Geschehens steht und alles Weitere für ihn in den Hintergrund rückt.

Sein *Vorgehen bei der Unterrichtsplanung* ist ähnlich wie bei Schneider und Leinert didaktisch innovationsbereit (Subkategorie 2.1.1) und nicht uneingeschränkt pragmatisch (Subkategorie 2.1.3). Trotz seines routinierten Handelns geht er wie Krüger wenig standardisiert vor, sondern improvisiert häufig:

„[V]iele Sachen mache ich auch tatsächlich *aus dem Gefühl heraus*. Gott sei Dank, bin ich so lange schon Lehrer, dass ich tatsächlich merke, wohin geht die Richtung. Sodass man häufig sowieso *sehr individuell ad hoc der Situation gerecht entsprechend* handeln muss. Sodass ich für mich *keine fertigen Stundenpläne* mache, also nicht die komplette- Sondern *ich stecke mir die Ziele* da und da hin und dann gucken wir so ein bisschen“ (SR1, 38).

Seine *Reflexion* des Unterrichts ist tiefgreifend. Er hat eine fachdidaktisch differenzierte Sicht auf Unterrichtsmethoden und Interessensforschung. Weiterhin ist er offen für verschiedene didaktische Strukturierungen und diskutiert diese vor dem Hintergrund der fachlichen Klärung und der Erfassung der Perspektive der Schüler*innen, wobei sich ein großes Repertoire an fachdidaktischen Zugängen und Experimenten bei Janssen offenbart. Darüber hinaus benennt er ebenso wie Krüger, an welchen Stellen er im Unterricht bewusst Abstriche in Kauf nimmt, um einen Kompromiss zwischen einer

akzeptablen Vorbereitungszeit und gutem Unterricht zu finden. Daher verzichtet er oftmals auf zeitaufwändige Experimente und bevorzugt stattdessen einfache Hands-on-Versuche.

Seine fachliche Reflexion lässt auf eine große fachliche Kompetenz schließen. Bspw. diskutiert er als einzige Person aus der Stichprobe, dass es sich bei den beiden Interferenzringen der Elektronenbeugungsröhre jeweils um Maxima erster Ordnung verschiedener Netzebenenabstände und nicht um die Maxima erster und zweiter Ordnung desselben Netzebenenabstands handelt. Das verdeutlicht, dass Janssen mit fachlichen Details vertraut ist und wohlüberlegt unterrichtliche Entscheidungen trifft.

Als *Ziele der Quantenphysik im Physikunterricht* nennt Janssen die typischen Ziele; er gibt allerdings weder Interpretationsfragen (Subkategorie 5.3.6) noch den Erkenntnisgewinn (Subkategorie 5.3.12) als Ziele an. Insgesamt können die von Janssen verfolgten Ziele als minimalistisch bezeichnet werden, was bei dem geringen Umfang von 12 45-Minuten-Einheiten seiner Unterrichtsreihe auch nicht überrascht.

Es ist ungewöhnlich, dass Janssen seine Unterrichtsreihe mit Elektronenbeugung beginnt (vgl. Burkard, 2009). Lücking ist die einzige Lehrkraft aus der Stichprobe, die ebenfalls diesen Einstieg in die Quantenphysik wählt. Janssen möchte auf diese Weise den Welle-Teilchen-Dualismus ins Zentrum seiner Unterrichtsreihe stellen. Er geht allerdings erst zu einem späteren Zeitpunkt genauer auf Elektronen als Quantenobjekte ein und leitet stattdessen auf die Teilcheneigenschaften von Licht über: „Aber so war es auf jeden Fall einleuchtend, ne? Wenn Elektronen Welleneigenschaften haben, haben Lichtwellen auch Teilcheneigenschaften“ (SR1, 14). Inwiefern diese Überleitung tatsächlich für seine Schüler*innen nachvollziehbar war, ist fraglich, da Janssen bei der anschließenden erneuten Behandlung der Elektronenbeugung seinen Angaben zufolge auf wenig Vorwissen bei seinen Schüler*innen trifft.

Weiterhin können bei Janssen die folgenden *Vorstellungen zur Materialnutzung* identifiziert werden: 3.1.5 *Baukasten-Prinzip*, 3.1.6 *Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen bzw. Stil* und 3.1.7 *Kaum Orientierung an Unterrichtsmaterialien*. Hierbei zeichnet sich ein großes Autonomiebestreben und eine hohe Expertise ab. Janssen hat keinen Bedarf an Materialien zur engen Orientierung: „Ich mache das ganz gerne mit meinen eigenen Ideen“ (I2, 24).

Neben einem guten Angebot an Aufgaben (Subkategorie 3.2.5) ist Janssen in Bezug auf die *inhaltlichen Materialnutzungskriterien* ein Bezug auf die Lebenswelt der Schüler*innen (Subkategorie 3.2.13) besonders wichtig. Letzteres nennt er von allen teilnehmenden Lehrkräften am häufigsten. In beiden Kriterien manifestiert sich Janssens pädagogisch orientierte Grundposition. Weiterhin ist es Janssen wichtig, dass er als Lehrkraft Materialien

interessant findet (Subkategorie 3.2.1), was mit seiner selbstbezogenen Haltung konform geht.

In Bezug auf seine *formalen bzw. pragmatischen Materialnutzungskriterien* hebt sich Janssen nicht wesentlich vom Durchschnitt ab. Es fällt lediglich auf, dass er als einzige Person aus der Stichprobe nicht die Verfügbarkeit von Materialien als Kriterium nennt. Weiterhin ist ein Zusammenhang zwischen dem Einsatz digitaler Medien (Subkategorie 3.3.5) und der Interessenförderung (Subkategorie 3.2.13) zu beobachten, da Janssen digitale Medien oftmals nutzt, um seine Schüler*innen zu motivieren. Insgesamt scheint Janssen mehr Wert auf inhaltliche, denn auf pragmatische Materialnutzungskriterien zu legen.

Als *Materialien zur Unterrichtsvorbereitung oder im Unterricht* nutzt Janssen vor allem seine eigene Materialsammlung (Subkategorie 3.4.3) oder den Austausch mit Kolleg*innen (3.4.9). Letzteres hängt mit seiner Tätigkeit als Fachleiter zusammen, wo er sich sowohl viel mit anderen Fachleiter*innen, Hochschullehrenden und Referendar*innen austauschen kann. Aufgrund seines großen Erfahrungsschatzes entwickelt er viele Materialien selber, worin sich sein improvisierendes und eigenständiges Arbeiten offenbart. Weiterhin greift er häufig auf Lehrerhandreichungen als Aufgabensammlung zurück. Er orientiert sich hingegen bewusst wenig am Schulbuch, weil er auf diese Weise seinen Schüler*innen unterschiedliche Zugangsmöglichkeiten zur Physik bieten möchte. Inwiefern dies seinem tatsächlichen Beweggrund entspricht oder auf eine geringe Bereitschaft, sich an vorgefertigten Unterrichtskonzeptionen zu halten, zurückzuführen ist, bleibt offen.

Janssen tätig insgesamt von allen teilnehmenden Lehrkräften am wenigsten *Aussagen zu MILQ*. Im Einstiegsinterview erweckt er den Eindruck, sich wenig mit MILQ beschäftigt zu haben. Er gibt an, er habe MILQ „mal überflogen“ (I1, 123). Im ersten Stimulated-Recall-Interview berichtet er: „[I]ch werde auch noch die Zeit haben, das [bereitgestellte Unterrichtskonzept MILQ] zu sichten und werde Ihnen auch noch einmal eine Rückmeldung geben“ (SR1, 86). Im zweiten Stimulated-Recall-Interview geht er gar nicht auf MILQ ein und im Abschlussinterview findet der folgende Dialog statt:

I: „Also ich glaube, Sie haben ja jetzt damit [MILQ] gar nicht so viel gearbeitet.“

B: „Nein, aber *ich habe tatsächlich mal jetzt auch reingeschaut*“ (I2, 14f.).

Offensichtlich nutzt Janssen MILQ nicht als Ressource für seine Unterrichtsreihe und setzt sich nicht intensiver damit auseinander. Er steht MILQ zwar positiv gegenüber, da er eine hohe Meinung von Rainer Müller hat, der ihm als einen Autor der piko-Briefe bekannt ist, aber er strebt von vorneherein keine enge Orientierung an dem Konzept an:

„Und wenn ich nach einem anderen, nach Rainer Müller, nach seinem Konzept vorgehe, *dann bin ich das nicht*. Und dann bin ich nicht mehr authentisch. Ich finde, der hat super Ideen, ja? Auch an anderen Stellen, wo ich sage: „Hey, das kann man mal ausprobieren!“ *Aber ich würde es trotzdem nicht eins zu eins so übernehmen, weil es muss halt eben auf einen zugeschnitten sein*“ (I2, 24).

Janssen beabsichtigt bei der Auseinandersetzung mit MILQ keine Weiterentwicklung seines Unterrichts, sondern den Austausch zwischen fachdidaktischer Forschung und Schule:

„Erst einmal, *als Fachleiter* sehe ich es ja auch ein, wirklich immer *am Ball zu bleiben*, was kommt Neues. Ich wollte einfach mal schauen, aus der Physikdidaktik. [...] Zumindest einmal *eine eigene Meinung bilden* und sagen, okay ja, das ist etwas für mich, das ist nichts für mich“ (I1, 37).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Janssen, ähnlich wie Krüger, routiniert und improvisierend handelt und dabei über ein großes Repertoire an Methoden und Experimenten verfügt. Er ist sowohl fachdidaktisch als auch fachlich reflektiert und wägt bewusst pragmatische gegen lernförderliche Entscheidungen ab. Janssen agiert sehr autonom und selbstständig und steht gerne im Mittelpunkt des Geschehens. Eine Auseinandersetzung mit MILQ findet nur sehr oberflächlich und wenig zeitintensiv statt, es ist daher anzunehmen, dass Janssen das fachdidaktische Innovationspotential von MILQ nicht erfasst. Da er keinen Mehrwert zu seinem sonstigen Vorgehen erkennt, setzt er MILQ nicht in seinem Unterricht um.

8.3.9. Alexander Lücking

Für Lücking sind als *Planungskriterien/Rahmenbedingungen* die Vorgaben durch den Lehrplan (Subkategorie 2.2.2) und besonders die zeitlichen Ressourcen für die Unterrichtsplanung (Subkategorie 2.2.10) wichtig. Letzteres nennt er mit einer relativen Nennungshäufigkeit von 40 ‰ im Vergleich zum Durchschnitt von 12 ‰ sehr häufig. Darüber hinaus ist für ihn auch die Vorbereitung der nächsten Klausur (Subkategorie 2.2.3) handlungsleitend. Als eine der wenigen teilnehmenden Lehrkräfte nennt er keine zusätzlichen Ziele über die Lehrplanvorgaben hinaus.

In Bezug auf die *Vorstellungen zum Lehren und Lernen* kann er als mittel bis hoch ausgeprägt pädagogisch orientiert und mittel ausgeprägt fachlich orientiert beschrieben werden. Lücking berichtet, mittlerweile weniger Wert auf die Durchführung von Experimenten zu legen, sondern sich auf das Üben von Aufgaben zu konzentrieren, da dies seiner Meinung nach entscheidender für die Abiturvorbereitung ist. Es ist auffällig, dass Lücking aufgrund feh-

lender Äußerungen als nicht motivierend (Subkategorie 1.5) eingestuft wird, was aus der Stichprobe lediglich ebenfalls auf Schmidt zutrifft.

Sein *Vorgehen bei der Unterrichtsplanung* ist pragmatisch (Subkategorie 2.1.3), was eng mit seinen begrenzten zeitlichen Ressourcen zusammenhängt. Eine erhöhte didaktische Innovationsbereitschaft kann bei Lücking nicht festgestellt werden (Subkategorie 2.1.1).

Ferner ist die *Reflexion* seines Unterrichts fachdidaktisch tiefgreifend (Subkategorie 6.1.1). Er identifiziert bspw. Schülervorstellungen zur Quantenphysik bei seinen Schüler*innen und geht darauf im Unterricht ein. Er listet diesbezüglich sowohl einen unreflektierten Welle-Teilchen-Dualismus als auch ein mechanistisches Denken auf, was nur von wenigen der teilnehmenden Lehrkräfte gemeinsam genannt wird. Darüber hinaus analysiert er Aufgaben in Hinblick auf die darin geforderten Kompetenzen, was ebenfalls nur wenige Lehrkräfte aus der Stichprobe in dieser Form tun. Nichtsdestotrotz tätigt Lücking auch didaktisch wenig durchdachte Aussagen, wie bspw. bei der Entscheidung, mit Elektronen als Quantenobjekte die Unterrichtsreihe zu beginnen:

„[E]s war jetzt *keine bewusste Entscheidung* in dem Sinne, ehm, dass ich da irgendwie jetzt einen klaren Vorteil drin gesehen hätte. Sondern ehm ich hätte, beide Reihenfolgen fand ich in Ordnung, *das machte für mich jetzt irgendwie keinen großen Unterschied* und da habe ich gesagt, dann mache ich es so, (unverständlich). //I: Wie es halt im Buch ist“ (I2, 29).

Fachlich reflektiert Lücking auf Schulniveau und äußert selber eine Fehlvorstellung bezüglich der Lokalisation von Quantenobjekten, weshalb seine Reflexion diesbezüglich als oberflächlich eingestuft wird (Subkategorie 6.1.2):

„Und dann ist ja auch für mich erst einmal als Lehrer die Frage oder ist das eher eine *Haarspaltere*i und eine philosophische Frage zu sagen, das Photon nimmt genau einen Weg [im Mach-Zehnder-Interferometer]. Entweder A oder B. Nur a) weiß ich nicht, welchen, und b) kann ich es auch nicht herausfinden, weil in dem Moment, wo ich versuche, es herauszufinden, zerstöre ich es. *Aber warum kann ich jetzt dann nicht trotzdem erst einmal die Vorstellung haben, ein Photon nimmt einen Weg. Nur ich habe halt keine Ahnung*“ (Lücking, I2, 53f.).

Lücking fühlt sich fachlich unsicher in Bezug auf die Quantenphysik, weshalb er niedrige *Selbstwirksamkeitserwartungen beim Unterrichten von Quantenphysik* (Subkategorie 5.1) aufweist:

„Also der *Grad der Sicherheit auch mal völlig unvorbereitet eh jetzt eine Stunde aus dem Ärmel zu schütteln, das könnte ich jetzt, glaube ich, nicht behaupten*. [...] [I]ch sage mal Interferenz, also mit Gitter und so. Da traue ich mir

[zu], in der Sammlung innerhalb von einer Viertelstunde alle Geräte richtig in der richtigen Reihenfolge ineinander zuschrauben“ (I1, 164).

Wie bei Kruse geht die niedrige Selbstwirksamkeit bei Lücking mit einem hohen persönlichen Interesse an Quantenphysik einher (Subkategorie 5.2).

Bei seinen verfolgten *Zielen der Quantenphysik im Physikunterricht* weicht er nicht wesentlich vom Durchschnitt ab. Auffällig ist lediglich, dass weder aus seinen Interviewaussagen noch aus seinen Kursbucheinträgen hervorgeht, dass er die Unbestimmtheitsrelation behandelte, obwohl diese für den Leistungskurs im Lehrplan vorgeschrieben ist. Das bedeutet zwar nicht zwangsläufig, dass er sie nicht behandelt, aber in jedem Fall scheint er keinen großen Wert darauf zu legen.

Als *Vorstellung zur Materialnutzung* wird bei Lücking die Subkategorie 3.1.1 *Erfolgreiche Erprobung kein Qualitätsmerkmal* festgestellt. Darüber hinaus kann eine Äußerung keiner Subkategorie zugewiesen werden:

„Wenn ihr [Fachdidaktiker*innen] sagt, wir haben hier eine tolle Idee, dann machen wir das nicht nur für eine Stunde, sondern für eine ganze Reihe. So, ehm. Ich bin dann als Lehrer natürlich immer noch in der Lage zu sagen, //I: Man nimmt noch einmal Anpassungen vor, klar.// *ich mache jetzt von Seite eins bis Seite dreißig, mache ich es jetzt Wort für Wort es genauso, oder zu sagen, ich bin da durchaus noch spontan und an der Stelle gefällt mir das jetzt gerade überhaupt nicht, da mache ich das jetzt anders.* Aber dafür bin ich ja dann *ausgebildeter Lehrer* und kann das *eigenwillig entscheiden*“ (I2, 69).

Daraus lässt sich ein hohes Bestreben nach Autonomie und die Wahrnehmung der eigenen Rolle als Experte ableiten.

Das zentrale Auswahlkriterium in Bezug auf die *inhaltlichen Materialnutzungskriterien* stellt für Lücking ein gutes Angebot von Aufgaben (Subkategorie 3.2.5) dar. Als Indikator führt er dazu die in den Aufgaben geförderten Kompetenzen (Subkategorie 3.2.11) an, um seine Schüler*innen gut auf das Abitur vorzubereiten (Subkategorie 2.2.2 & 2.2.3). Bezeichnend ist, dass Lücking als einziger der teilnehmenden Lehrkräfte ein angemessenes Anforderungsniveau für die Schüler*innen nicht als Auswahlkriterium für Materialien nennt.

Weiterhin tätigt Lücking von allen Lehrkräften relativ gesehen am meisten Äußerungen zu *formalen bzw. pragmatischen Materialnutzungskriterien*. Hierbei ist insbesondere die Reduktion der Arbeitsbelastung (Subkategorie 3.3.1) für Lücking handlungsleitend, welche er überdurchschnittlich häufig nennt. Darüber hinaus führt er die Verfügbarkeit des Materials (Subkategorie 3.3.8) an. Insgesamt spiegelt sich in seinen pragmatischen Materialnutzungskriterien Lückings pragmatisches Verhalten wider.

Er gibt weiterhin an, verschiedene *Materialien zur Unterrichtsvorbereitung oder im Unterricht* zu nutzen; gleichwohl bildet das Schulbuch (Subkategorie 3.4.1) für Lücking die zentrale Materialressource: „[W]as ich zur Hand habe, ist das Buch und das mache ich jetzt Seite für Seite“ (I1, 12). Dies begründet er u.a. mit der geringen Arbeitsbelastung bei der Verwendung des Schulbuches und dessen Verfügbarkeit. Darüber hinaus tauscht er sich häufig mit Kolleg*innen aus (Subkategorie 3.4.9).

Lücking listet unter *3.5 Gründe für das Selbststudium* in Bezug auf sowohl die relative Nennungshäufigkeit als auch die Anzahl der Gründe weniger als der Durchschnitt auf. Sein Fokus richtet sich primär auf die fachliche Weiterbildung (Subkategorie 3.5.2), was teilweise auf seine fachliche Unsicherheit hinsichtlich der Quantenphysik zurückzuführen ist – denn er möchte seinen Schüler*innen nicht „irgendwelchen Blödsinn“ (I1, 91) erzählen.

Bei seiner *Einschätzung von MILQ* dominieren kritische Äußerungen. Denn er findet das Konzept zu umfangreich für eine zeiteffiziente Einarbeitung als Lehrkraft und für die Aufbereitung des Materials für den Unterricht (Subkategorie j). Weiterhin kritisiert er fehlende Musterlösungen zu den Aufgaben, was in seiner fachlichen Unsicherheit und seinem pragmatisches Verhalten begründet liegt:

„Ehm würde mir da tatsächlich erst einmal zu diesem Arbeitsblatt erst einmal *eine kurze, knappe quasi Musterlösung* helfen. Weil man kann zwar dann irgendwann selber auch als Lehrer jetzt erst einmal ehm *für sich eine Sicherheit gewinnen*, das ist jetzt tatsächlich die richtige Antwort, aber dazu muss ich- //I: Ich verstehe, was Sie meinen. // Dazu muss ich auch wirklich *die zehn Seiten Lehrtext dann auch erst einmal gelesen haben*“ (SR1, 101).

Auf das Arbeitsblatt zur Selbstkontrolle in MILQ, für das Musterlösungen bereitgestellt werden, geht er nicht ein, weshalb zu vermuten ist, dass er es überblättert. Weiterhin merkt Lücking an, dass für ihn nicht immer die Funktion der Elemente aus MILQ ersichtlich ist, also inwiefern die Materialien für Schüler*innen oder für die Lehrkraft gedacht sind. Trotz seiner Kritikpunkte schätzt er MILQ als „ein[en] durchaus machbare[n] Unterrichtsgang“ (I1, 156) ein. Weiterhin ist Lücking der Meinung, dass MILQ gut zur Vorbereitung für die Lehrkraft (Subkategorie a) geeignet sei. Seine Einschätzung von MILQ bezieht sich allerdings lediglich auf die Sichtstruktur von MILQ. Auch auf Nachfrage geht er nicht auf die in MILQ verfolgten Ziele ein (vgl. I2, 68ff.).

In seinem Unterricht implementiert er eine Tabelle als Tafelanschrieb sowie die Simulationen zum Doppelspalt und zum Mach-Zehnder-Interferometer mit dem jeweils zugehörigen Arbeitsblatt. Er setzt folglich lediglich einzelne Elemente aus MILQ im Unterricht um.

Zusammenfassend weist Lücking sowohl pädagogisch als auch fachlich mittel ausgeprägte Vorstellungen zum Lehren und Lernen sowie ein sehr pragmatisches Verhalten auf. Er reflektiert im Vergleich zu anderen Lehrkräften fachdidaktisch tiefgehend. Lücking sieht den Umfang von MILQ und die fehlenden Anleitungen für eine Umsetzung im Unterricht für Lehrkräfte kritisch, weshalb er sich stattdessen eng am Schulbuch orientiert. Es stellt sich die Frage, ob MILQ bei einer anderen Aufbereitung für Lücking das Schulbuch in seiner handlungsleitenden Rolle hätte ablösen können. Weiterhin bleibt unklar, welche Unterstützungsmaßnahmen sich Lücking konkret wünscht, da er sowohl fehlende Anleitungen als auch „ein fertiges Kochrezept“ (I1, 100) kritisiert.

8.3.10. Tobias Kampe

Hinsichtlich der *Planungskriterien/Rahmenbedingungen* weicht Kampe nicht wesentlich vom Durchschnitt ab. Es ist lediglich auffällig, dass er als einzige teilnehmende Lehrkraft mit Ausnahme von Schmidt nicht angibt, wenig Zeit für die Unterrichtsvorbereitung zu haben.

Wie Krüger kann Kampe hinsichtlich seiner *Vorstellungen zum Lehren und Lernen* als ausgeprägt pädagogisch orientiert und mittel ausgeprägt fachlich orientiert beschrieben werden. Die Behandlung von Experimenten ist für ihn ebenfalls nicht handlungsleitend (Subkategorie 1.6).

Kampes *Vorgehen bei der Unterrichtsplanung* ist sehr zielorientiert (Subkategorie 2.1.3) und wenig innovationsbereit (Subkategorie 2.1.1). Wengleich er mit vier Jahren Berufserfahrung noch als Berufseinsteiger gilt, zeichnet sich bereits eine ausgebildete Routine bei ihm ab.

Die *Reflexion* seines Unterrichts erfolgt auf einem fachdidaktisch eher tiefgreifenden Niveau (Subkategorie 6.1.1). Seine Handlungsentscheidungen wirken durchdacht, bspw. setzt er gezielt Kontexte zur Interessensförderung ein und geht auf mögliche Schülervorstellungen ein. Fachlich reflektiert Kampe hingegen beschreibend auf Schulniveau (Subkategorie 6.1.2).

In Bezug auf die von ihm verfolgten *Ziele der Quantenphysik im Physikunterricht* ist interessant, dass er in seinem Grundkurs die Unbestimmtheitsrelation (Subkategorie 5.3.10) behandelt, obgleich sie vom Lehrplan nicht vorgeschrieben ist (KLP NRW, 2014). Darüber hinaus verfolgt Kampe als einer der wenigen teilnehmenden Lehrkräfte das Ziel 5.3.12 *Erkenntnisgewinn/moderne Physik*, welches aus fachdidaktischer Perspektive das zentrale Argument darstellt, Quantenphysik in der Schule zu unterrichten (Fischler, 1992), und damit seine fachdidaktische Perspektive auf Unterricht unterstreicht. Weiterhin möchte Kampe bewusst bei seinen Schüler*innen einen kognitiven Konflikt herbeiführen, um den Gegensatz der Quantenphysik zur klassischen Physik zu verdeutlichen:

„Und das soll die ruhig auch ein bisschen verwirren. Und es soll sie auch irgendwie irritieren, dass es einen Welle-Teilchen-Dualismus gibt und dass das absolut nicht intuitiv ist“ (I1, 101).

Zudem lässt er seine Schüler*innen in einer Gruppenarbeitsphase verschiedene Deutungen der Quantenphysik gegenüberstellen, was ebenfalls in dieser Intensität nicht vom Lehrplan gefordert ist. In diesem Zusammenhang geht er auch auf das Einstein-Podolsky-Rosen-Paradoxon ein, was auch über die Lehrplangvorgaben hinausgeht (KLP NRW, 2014). Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Kampe sehr ausführlich Interpretationsfragen mit seinen Schüler*innen behandelt, um deren Konzeptverständnis zu fördern.

Als *Schwierigkeiten beim Unterrichten von Quantenphysik* nennt Kampe einen unreflektierten Welle-Teilchen-Dualismus als explizite Schülervorstellung. Weiterhin führt er auf einer allgemeinen Ebene die Schwierigkeit bei der Herstellung eines kognitiven Konflikts bei den Schüler*innen an. Diesbezüglich kann Kampe als fachdidaktisch informiert beschrieben werden.

Als *Vorstellungen zur Materialnutzung* werden bei Kampe die Subkategorien 3.1.1 *Erfolgreiche Erprobung kein Qualitätsmerkmal*, 3.1.3 *Anpassungen nötig* und 3.1.6 *Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen bzw. Stil* festgestellt. Mit dieser Kombination weist er Ähnlichkeiten zu Lenz, Schneider und Leinert auf.

In Bezug auf die *inhaltlichen Materialnutzungskriterien* ist ein gutes Angebot an Aufgaben (Subkategorie 3.2.5) das zentrale Kriterium für ihn. Diesbezüglich nimmt er häufig Adaptionen für die jeweilige Lerngruppe vor – weshalb diese Subkategorie bei Kampe oftmals mit seiner Vorstellung zur Materialnutzung *Anpassungen nötig* einhergeht. Dementsprechend ist ein angemessenes Anforderungsniveau für Schüler*innen (Subkategorie 3.2.9) für Kampe ebenfalls relevant. Weiterhin ist für ihn die Orientierung an Kontexten (Subkategorie 3.2.13) von Bedeutung. In Bezug auf *formale bzw. pragmatische Materialnutzungskriterien* weicht Kampe nicht wesentlich vom Durchschnitt ab. Am häufigsten nennt er diesbezüglich die Nutzung digitaler Medien (Subkategorie 3.3.4).

Als *Materialien zur Unterrichtsvorbereitung oder im Unterricht* nutzt Kampe vor allem seine eigene Materialsammlung (Subkategorie 3.4.3), was bei Kampe bedeutet, dass er viele Materialien selber entwickelt. Außerdem recherchiert Kampe viel im Internet (Subkategorie 3.4.2), wobei er nach eigenen Angaben oft LEIFIphysik konsultiert. Dies begründet er mit der Verfügbarkeit dieser Materialien. Das Schulbuch verwendet Kampe hingegen selten, weil in seiner Schule zum einen nicht genügend Bücher für alle Oberstufen-Schüler*innen verfügbar sind und er zum anderen das angeschaffte Schulbuch seiner Schule, den Metzler, als zu anspruchsvoll befindet. Kampe zählt weiterhin verschiedene *Gründe für das Selbststudium* auf, weshalb er als interes-

siert und offen in Bezug auf seine eigene Weiterbildung beschrieben werden kann.

Seine *Haltung gegenüber MILQ* ist neutral. Er gibt zwar an, durch MILQ nichts Neues dazugelernt zu haben (Subkategorie a), was jedoch vor dem Hintergrund, dass ihm MILQ bereits aus dem Studium bekannt ist, nicht als Kritik aufzufassen ist. Er kritisiert, dass in MILQ wenig Materialien zur Elektronenbeugungsröhre bereitgestellt werden, was wiederum keine grundlegende Kritik an MILQ darstellt. Sein Lob bezieht sich konkret auf das Kapitel zur Wahrscheinlichkeitsinterpretation:

„Mir wird es vor allem helfen, wenn ich mich ehm mit Welle-Teilchen-Dualismus und der Wahrscheinlichkeitsinterpretation beschäftigen möchte, da habe ich gemerkt, *da könnte ich vielleicht den Schülern auch ein bisschen was von dem Textmaterial daraus tatsächlich geben*. [...] Also ich würde eher *etwas daraus zusammenschreiben* vielleicht noch einmal. [...] Aber da waren tatsächlich ganz interessante Materialien und auch gute Erklärungen teilweise zu Welle-Teilchen-Dualismus dabei“ (SR1, 59).

Auf weitere Elemente aus MILQ geht er nicht näher ein. Vermutlich führen die von ihm verfolgten Ziele dazu, dass er sich nur mit ausgewählten Elementen aus MILQ beschäftigt.

Seine selektive Auseinandersetzung mit MILQ hat als Konsequenz, dass er lediglich das von ihm gelobte Kapitel zur Wahrscheinlichkeitsinterpretation seinen Schüler*innen als Recherche-Grundlage zur Verfügung stellt. Damit setzt er zwar einen wichtigen Aspekt der fachdidaktischen Innovation von MILQ um, es handelt sich jedoch lediglich um einen kleinen Auszug aus MILQ. Interessant ist, dass er keines der in MILQ bereitgestellten Arbeitsblätter nutzt, obgleich ihm Aufgaben bei der allgemeinen Materialauswahl wichtig sind. Gründe hierfür nennt er nicht. Er fasst seine Nutzung von MILQ wie folgt zusammen:

„Also es ist ja einfach *nett, auch mal zusätzliches Material zu haben*. Und so wahnsinnig lange dauert das jetzt ja auch nicht, in so einen Ordner mal zu schauen und zu gucken- //I: Und so ein bisschen zu blättern sozusagen, ne?// Genau. Ne? *Man liest ja nicht alles im Detail durch, sondern man guckt, welche Stellen könnten passen?* Und man guckt sich die mal genauer an“ (I2, 66).

Abschließend gibt Kampe an, sich vorstellen zu können, auf MILQ für zukünftige Unterrichtsreihen im Leistungskurs erneut zurückzugreifen – aber weniger für Grundkurse. Das kann als ein Indiz dafür gewertet werden, dass Kampe MILQ für Grundkurse als zu anspruchsvoll einschätzt.

Zusammenfassend kann Kampe als Berufseinsteiger mit einsetzender Routinebildung beschrieben werden, der sowohl pragmatisch und zielführend

vorgeht als auch bestmöglich auf seine Schüler*innen einzugehen versucht. Dabei ist er fachdidaktisch reflektiert, was sich u.a. in den von ihm verfolgten Unterrichtszielen niederschlägt. Seine Offenheit für Neues ist allerdings durch die gegebenen Randbedingungen eingeschränkt. Er setzt sich lediglich mit Auszügen aus MILQ intensiver auseinander und stellt nur ein Kapitel aus MILQ seinen Schüler*innen neben weiteren Materialien als Recherchemöglichkeit zur Verfügung. Auf diese Weise implementiert er nur wenig von MILQ im Unterricht.

8.3.11. Simon Meyer

Meyer tätigt neben Janssen die meisten Aussagen zu *Planungskriterien/Rahmenbedingungen*. Dabei geht er auf viele verschiedene Subkategorien ein. Möglicherweise ist es auf seinen Status als Berufseinsteiger zurückzuführen, dass er viele Faktoren als Randbedingung empfindet, die von erfahreneren Lehrkräften als selbstverständlicher im Alltagsgeschäft erlebt und daher weniger expliziert werden. Am meisten nennt Meyer die Vorgaben durch den Lehrplan (Subkategorie 2.2.2) und die zur Verfügung stehende Unterrichtszeit (Subkategorie 2.2.9).

In Bezug auf seine *Vorstellungen zum Lehren und Lernen* kann Meyer als ausgeprägt pädagogisch orientiert und wenig fachlich orientiert beschrieben werden. Meyer wirkt, ähnlich wie Janssen oder Krüger, fachdidaktisch aufgeklärt, da für ihn weder ein fachsystematisches Vorgehen (Subkategorie 1.4) noch Experimente handlungsleitend (Subkategorie 1.6) sind.

Sein *Vorgehen bei der Unterrichtsplanung* ist pragmatisch geprägt, was sich teilweise in seiner Materialnutzung konkretisiert:

I: „Und ehm, ich weiß jetzt gar nicht, ob das Zufall ist, dass das in beiden Stunden, in denen ich da war, hast du immer so halbe Arbeitsblätter gemacht. Ist das für dich-“

B: „Papier sparen. [...] Das kriege ich hin sinnvoll vorzubereiten, aber so ein ganzseitiges Arbeitsblatt mit, was weiß ich noch was dazu, da muss ich auch, da muss *die Kosten-Nutzen-Rechnung dann doch irgendwo bei 25 Stunden Unterricht die Woche schon so passen*, dass es das wert ist. [...] Also da hätte ich jetzt auch noch mehr Text, da hätte ich jetzt auch noch aus dem Buch irgendwo noch einen Text rauskopieren können. [...] *Aber das steht im Schulbuch drin.* [...] *Um das besser zu machen, hätte ich selber etwas schreiben müssen* und das, ja nee“ (I1, 53ff.).

Nichtsdestotrotz weicht Meyer auch bewusst vom Schulbuch ab und erstellt selber Materialien:

„*Klar, könnte ich mich am Lehrbuch orientieren, aber dann müsste ich die ganze Reihe aus dem Lehrbuch irgendwie dann unterrichten.* //I: Mh (beja-

hend). Ne, verstehe ich.// Gibt Kollegen, die machen das. Finde ich, dafür (...) finde ich, müsste ich an zu vielen Stellen abweichen und *dann ist es genauso viel Arbeit, wie, wenn ich es selber mache*" (I1, 83).

Seine didaktische Innovationsbereitschaft (Subkategorie 2.1.1) fällt ähnlich ambivalent aus – einerseits findet Meyer es wichtig, offen für neue Zugänge zu sein, andererseits schränken die gegebenen Rahmenbedingungen seine Möglichkeiten ein.

Die *Reflexion* seines Unterrichts ist fachdidaktisch eher tiefgreifend (Subkategorie 6.1.1), da Meyer didaktisch informiert argumentiert, explizit auf Schülervorstellungen eingeht, die Sachstruktur seiner Unterrichtsreihe begründet und viele seiner Entscheidungen differenziert erläutert. In seiner fachlichen Reflexion setzt er sich hingegen eher oberflächlich mit dem Inhaltsbereich der Quantenphysik auseinander (Subkategorie 6.1.2).

Meyer zählt viele *Ziele der Quantenphysik im Physikunterricht* auf und ist nach Kruse die Grundkurslehrkraft, welche die meisten Ziele verfolgt. Er betont die historische Einbettung der Quantenphysik (Subkategorie 5.3.8), indem er einen Originaltext von Einstein zum Photoeffekt seinen Schüler*innen austellt. Darüber hinaus richtet Meyer seinen Fokus auf Interpretationsfragen der Quantenphysik (Subkategorie 5.3.6):

„[D]as kann man irgendwie deuten, aber so richtig klar, *welche Deutung jetzt die richtige ist, sind sich die Physiker auch noch nicht so ganz, da gibt es auch noch Diskurs*. Und das hat etwas mit einer Wellengleichung zu tun, die man irgendwie vielleicht als Wahrscheinlichkeiten interpretieren kann, aber vielleicht auch irgendwie ganz anders das machen kann. Dann haben sie [die Schüler*innen] schon, finde ich, //I: Viel verstanden.// Brauchbares mitgenommen. *Jetzt mal außen vorgenommen von dem, was sie laut Lehrplan können sollten am Ende*. Aber das ist ja wirklich auf Experimente bezogen. Da ist *dieser allgemeine Bildungsaspekt*, ist da ja gar nicht mit drin“ (I1, 139).

In diesem Zusammenhang übt er differenziert Kritik an der Phänomenorientierung des Lehrplans.

Als *Vorstellungen zur Materialnutzung* können bei Meyer die Subkategorien 3.1.5 *Baukasten-Prinzip* und 3.1.6 *Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen bzw. Stil* identifiziert werden.

Meyer tätigt aus der gesamten Stichprobe am meisten Äußerungen zu *inhaltlichen Materialnutzungskriterien*. Hierbei überwiegen keine bestimmten Kriterien, Meyer nennt vielmehr eine Reihe von inhaltlichen Kriterien, die für ihn bei der Materialauswahl wichtig zu sein scheinen. Es fällt darüber hinaus auf, dass er überdurchschnittlich häufig die in Aufgaben geförderte Kompetenzen (Subkategorie 3.2.11) als Qualitätskriterium von Aufgaben anführt. Bei den *formalen bzw. pragmatischen Materialnutzungskriterien* sind

die Bereitstellung digitaler Medien (Subkategorie 3.3.4) und die Reduktion des Arbeitsaufwandes (Subkategorie 3.3.1) für Meyer die wichtigsten Kriterien.

Als *genutzte Materialien zur Unterrichtsvorbereitung oder im Unterricht* nennt er hauptsächlich das Internet (Subkategorie 3.4.2) und die eigene Materialsammlung (Subkategorie 3.4.3), wobei er – wie bereits erwähnt – viele Materialien selber erstellt. Obschon er dem Schulbuch aufgrund des Anforderungsniveaus und der wenig verständnisorientierten Aufgaben kritisch gegenübersteht, greift er auch regelmäßig darauf zurück (Subkategorie 3.4.1). Tatsächlich ist Meyer die einzige teilnehmende Lehrkraft, die in den Unterrichtsbeobachtungen ihre Schüler*innen mit dem Schulbuch arbeiten lässt. Interessanterweise nennt Meyer als Berufseinsteiger Fortbildungen nicht als Informationsquelle. Möglicherweise ist er dazu zu kurz als Lehrkraft tätig.

Auch bei den *Gründen für das Selbststudium* fällt auf, dass Meyer hierzu von allen teilnehmenden Lehrkräften am wenigsten Aussagen tätigt. Er gibt an, kaum Zeit für das Selbststudium zu haben (Subkategorie 3.5.5). Es ist bezeichnend, dass Meyer als Berufseinsteiger mit bislang wenig Unterrichtserfahrung aufgrund der gegebenen Rahmenbedingungen berichtet, nicht zur eigenen Weiterbildung zu kommen.

Meyer findet *MILQ*, insbesondere in Bezug auf das mathematische Anforderungsniveau, für Schüler*innen im Grundkurs zu anspruchsvoll (Subkategorie l). Weiterhin geht *MILQ* seiner Meinung nach nicht konform mit der Phänomenorientierung des Lehrplans (Subkategorie m): „Ja, schön, nette Idee, aber vollkommen falsches Reihenkonzept [im Vergleich zum Lehrplan]“ (I2, 66). Daneben schätzt Meyer eine Einteilung des Konzepts auf die „Taktung“ (I1, 122) des Unterrichts als zu aufwändig ein: „Die Idee ist gut, nur die praktische Umsetzung müsste ich halt selber komplett leisten“ (I1, 119). Was genau Meyer unter dieser „Idee“ versteht, erläutert er nicht – er sagt lediglich, dass er *MILQ* „durchdacht und schlüssig“ (I2, 29) findet. Schlussendlich kommt er zu folgender Einschätzung:

„Das ist *gut durchdacht* und halt auch, was ich im Examen oder im Referendariat so mache, wir bauen so eine Struktur auf, auf die das dann quasi schön schlüssig *ein roter Faden* sich durchzieht und alles. Ehm. Aber wenn man halt vorne irgendwie anzieht, kann man auch eins, zwei Sachen irgendwie rausziehen, *aber irgendwann kriegt man eine Laufmasche und das Ganze bricht zusammen*“ (I1, 112).

Dementsprechend schätzt Meyer es nicht als gewinnbringend ein, einzelne Kapitel aus *MILQ* zu implementieren, was im Widerspruch zu seiner Vorstellung zur Materialnutzung *3.1.5 Baukasten-Prinzip* steht. Stattdessen liest er den Lehrtext für sich als Vorbereitung und greift ansonsten lediglich auf die Simulation zum Doppelspalt aus *MILQ* im Unterricht zurück.

Zusammenfassend kann Meyer als Lehrer in der Phase der Routinebildung beschrieben werden. Er agiert pädagogisch orientiert sowie fachdidaktisch aufgeklärt, fühlt sich aber durch externe Rahmenbedingungen in seinem Vorgehen stark eingeschränkt. Obschon er MILQ als qualitativ hochwertig bezeichnet, schätzt er es als „an der Unterrichtspraxis so ein bisschen vorbei“ (I1, 122) ein. Möglicherweise ist seine hohe Meinung von MILQ auf seine Kenntnisse aus dem Studium zurückzuführen, denn in den Interviews führt Meyer nicht weiter aus, woran er die hohe Qualität von MILQ ausmacht. Letztendlich implementiert er nur eine Simulation aus MILQ und nutzt nach eigenen Angaben den Lehrtext für sich als Anregung.

8.4. Zwischenfazit

Im Folgenden werden auf der Basis der bisherigen Ergebnisdarstellung Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Fällen herausgearbeitet, wobei nur die zentralen Wirkfaktoren der Materialnutzung fokussiert werden. In Bezug auf die personenbezogenen Bedingungsfaktoren der Materialnutzung bilden die Vorstellungen zum Lehren und Lernen einen Filter der Wahrnehmung von und der Erwartungen an Materialien. Es können grob fachlich orientierte und pädagogisch orientierte Lehrkräfte sowie Lehrkräfte mit einer ausgewogenen Mischung unterschieden werden. Letztere können am ehesten einem kritisch-rationalen konstruktivistischen Lehr-Lern-Verständnis zugeordnet werden, welches auf der Grundlage der Unterrichtsqualitätsforschung (vgl. Unterkapitel 2.1) am förderlichsten für eine hohe Unterrichtsqualität bewertet werden kann. Bei über der Hälfte der Stichprobe werden jedoch eher ungünstige Vorstellungen zum Lehren und Lernen wie einer Aktivitätsorientierung, einer transmissiven Vorstellung, einer durch das Experiment dominierten Handlungsorientierung oder einer rein fachsystematischen Sichtweise festgestellt.

Das Vorgehen bei der Unterrichtsplanung der teilnehmenden Lehrkräfte kann in die beiden Gruppen (a) didaktisch wenig innovationsbereit und ausgeprägt pragmatisch sowie (b) didaktisch innovationsbereit und wenig pragmatisch unterteilt werden. Ein ausgeprägt pragmatisches Verhalten resultiert in der Regel u.a. aus limitierenden Rahmenbedingungen, insbesondere den zeitlichen Ressourcen, und konkretisiert sich in einem entweder sehr standardisierten oder improvisierenden Vorgehen. Ersteres ist sowohl bei erfahrenen Lehrkräften als auch bei Novizen zu beobachten, letzteres hingegen nur bei erfahrenen Lehrkräften. Je nach Reflexionsniveau der jeweiligen Lehrkräfte führt ein pragmatisches Verhalten zu einem bewussten und zielführenden Abwägen von Alternativen bis hin zu einem wenig fundierten Vorgehen.

Eine hohe didaktische Innovationsbereitschaft manifestiert sich im Gegensatz dazu in einer Offenheit neuen Anregungen gegenüber und tritt vor allem bei pädagogisch orientierten Lehrkräften auf. Die Innovationsbereitschaft kann allerdings durch externe Randbedingungen sowie ein hohes Autonomiebestreben eingeschränkt werden. Sie bildet die Motivation und Volition einer Person ab, führt aber nicht notwendigerweise zu einer innovativen Unterrichtspraxis, wie beim Großteil der betreffenden Lehrkräfte zu vermuten ist. Sie ist vermutlich als subjektive Theorie mittlerer Reichweite einzuordnen (vgl. Wahl, 1991).

Die fachdidaktische Reflexion des Unterrichtsgeschehens fällt bei den teilnehmenden Lehrkräften sehr ähnlich aus. Es kann eher ein Bodeneffekt festgestellt werden, da die Reflexion insgesamt aus fachdidaktischer Perspektive als oberflächlich und wenig analytisch zu bewerten ist. Das zeigte sich bereits bei der Analyse der Vorstellungen zum Lehren und Lernen. Um dennoch den Unterschieden zwischen den teilnehmenden Lehrkräften gerecht zu werden, wurde für eine Zuteilung eine soziale Bezugsnorm gewählt, sodass ein Teil der Stichprobe in diesem Sinne als relativ tiefgreifend fachdidaktisch reflektiert eingestuft wurde. Insgesamt wird jedoch vielfach eine Argumentation auf Sichtstrukturebene und aus Perspektive der Lehrperson (und wenig aus Sicht der Schüler*innen) beobachtet. Dabei wird häufig Bezug auf das Erfahrungswissen genommen, ohne stichhaltige Begründungen zu liefern (wie zum Teil bereits in Abschnitt 8.2.5 berichtet). Das bedeutet nicht notwendigerweise, dass die teilnehmenden Lehrkräfte nicht über die notwendige Reflexionskompetenz verfügen. Dennoch legt es den Schluss nahe, dass das Einnehmen einer fachdidaktisch fundierten Perspektive im Alltagsgeschäft der teilnehmenden Lehrkräfte eine untergeordnete Rolle einnimmt.

In der fachlichen Reflexion sind größere Unterschiede zwischen den teilnehmenden Lehrkräften festzustellen. Vier Lehrkräfte reflektieren fachlich tiefgreifend und gehen dabei deutlich über das Schulniveau hinaus. Allerdings können einigen Lehrkräften auch fachliche Verständnisschwierigkeiten und möglicherweise sogar Fehlvorstellungen zugeschrieben werden. Nur wenige Lehrkräfte diskutieren verschiedene Deutungen der Quantenphysik – weder als Unterrichtsziel noch zur Begründung der eigenen Interpretation der Quantenphysik – obschon ein Großteil angibt, die Behandlung von Interpretationsfragen im Unterricht wichtig zu finden. Darüber hinaus expliziert nur ein kleiner Teil der Stichprobe im Sinne einer didaktischen Analyse den Bildungsgehalt der Quantenphysik (Erkenntnisgewinn der modernen Physik und naturwissenschaftliche Arbeitsweisen).

In Bezug auf die Ziele der Quantenphysik und die Gestaltung der Unterrichtsreihe lassen sich teilweise große individuelle Unterschiede in der Schwerpunktsetzung, der Sachstruktur, der Themendichte und im Umfang feststellen. Diese sind vermutlich zum einen auf unterschiedliche curriculare

Vorstellungen und zum anderen auf externe Randbedingungen zurückzuführen. Zentrale Unterschiede stellen der Einstieg in die Quantenphysik dar (Teilcheneigenschaften von Licht vs. Welleneigenschaften von Elektronen), die Intensität der Behandlung von Deutungsfragen, der Fokus auf quantenmechanische Phänomene sowie die Abhandlung der Unbestimmtheitsrelation im Grundkurs dar. Trotz der gegebenen Rahmenbedingungen verfolgen mehrere Lehrkräfte zusätzliche Ziele über die Lehrplanvorgaben hinaus, was bei vielen Lehrkräften Bereitschaft und Engagement demonstriert, um den Schüler*innen aus Perspektive der betreffenden Lehrkräfte relevante Gesichtspunkte der Quantenphysik zu vermitteln. Bei einigen Lehrkräften könnten die zusätzlichen Ziele hingegen Zeichen für eine hohe Stabilität des eigenen Vorgehens sein, welches trotz einer Reduktion der Lehrpläne nach der Umstellung von G9 auf G8 beibehalten wurde. Das würde darauf hindeuten, dass eine Änderung eines etablierten Vorgehens schwierig herbeizuführen ist, was sich ebenfalls unter den Vorstellungen zur Materialnutzung abzeichnet.

Die Vorstellungen zur Materialnutzung stellen bei allen teilnehmenden Lehrkräften einen entscheidenden Filter der Materialauswahl und -umsetzung dar. Hierbei werden bei mehreren Lehrkräften inkonsistente Haltungen festgestellt. Dabei steht eine hohe didaktische Innovationsbereitschaft dem Drang der Adaption von Materialien der Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen bzw. der Bevorzugung vertrauter Konzepte gegenüber. Eine mögliche Erklärung könnte nach Wahl (1991) in verschiedenen Reichweiten dieser Vorstellungen liegen. Möglicherweise weist eine hohe didaktische Innovationsbereitschaft eine große bzw. mittlere Reichweite und das Bestreben nach Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen eine kurze Reichweite auf, in dem Fall wäre letztere beim Handeln unter Druck handlungssteuernd.

Hinsichtlich der materialbezogenen Bedingungsfaktoren herrschen wiederum große individuelle Unterschiede zwischen den teilnehmenden Lehrkräften. Es können zwar durchaus übergreifend Materialnutzungskriterien wie ein gutes Angebot an Aufgaben, Lehrplankongruenz, die Bereitstellung von Kontexten oder eine übersichtliche Darstellung als implementationsförderlich identifiziert werden, aber die Befunde suggerieren, dass materialbezogene Bedingungsfaktoren stark von den personenbezogenen Bedingungsfaktoren abhängen. Besonders relevant scheinen hierbei die Vorstellungen zum Lehren und Lernen, die fachdidaktische Reflexionstiefe sowie der Ausprägungsgrad des pragmatischen Verhaltens zu sein.

Auch bei der Nutzung von Materialien sind große Unterschiede zwischen den verschiedenen Lehrkräften erkennbar. Mehrere Lehrkräfte orientieren sich eng am Schulbuch. Die Interviewdaten indizieren, dass diesem Vorgehen unterschiedliche Motive, wie Pragmatismus oder Unsicherheit, zugrundeliegen. Andere Lehrkräfte distanzieren sich bewusst vom Schulbuch, weil sie bspw. dessen Qualität und Adäquatheit für Schüler*innen infrage stellen.

Stattdessen nutzen sie viele verschiedene Materialien aus unterschiedlichsten Quellen. Diese Lehrkräfte weisen eine Offenheit für neue Ideen und entweder einen hohen Grad an Selbstständigkeit oder Unsicherheiten beim Unterrichten auf. Weiterhin wirkt es so, als wenn einige Lehrkräfte sogar einen gewissen Innovationsdruck verspüren oder zumindest diesen Anspruch an sich selber stellen – wofür allerdings lediglich implizite Hinweise vorliegen.

Im Folgenden wird dargelegt, wie sich diese verschiedenen Bedingungsfaktoren auf die Rezeption und Implementierung von MILQ auswirken. Schneider und Leinert können zwar als fachdidaktisch innovationsbereit beschrieben werden und investieren während der Unterrichtsvorbereitung viel Zeit in die Suche nach Anregungen und schätzen darüber hinaus MILQ sehr positiv ein; es scheint ihnen aber zum Erkennen des fachdidaktischen Innovationspotentials von MILQ an fachdidaktischem Wissen zu fehlen. Lücking und Kruse sind pragmatischer in ihrem Materialnutzungsverhalten und orientieren sich häufig am Schulbuch, stehen aber neuen Anregungen nicht grundsätzlich abgeneigt gegenüber. Sie fühlen sich beide in Bezug auf die Quantenphysik fachlich unsicher und schätzen daher MILQ als Orientierungshilfe positiv ein. Wie bei Schneider und Leinert scheint es ihnen jedoch zur Erfassung des fachdidaktischen Innovationspotentials von MILQ an fachdidaktischem Wissen zu fehlen, was durch ihr pragmatisches Verhalten noch verstärkt zu werden scheint.

Kampe und Meyer können hingegen als fachdidaktisch reflektierter beschrieben werden. Sie fühlen sich in ihrem professionellen Handeln allerdings aufgrund der von ihnen wahrgenommenen Rahmenbedingungen sehr gebunden, was möglicherweise mit ihrem Status als Berufseinsteiger zusammenhängt. Beide gehen in ihrer Unterrichtsvorbereitung sehr pragmatisch vor. Nach ihrer ersten Einschätzung kann die Implementierung von MILQ nicht in Einklang mit ihren Rahmenbedingungen gebracht werden, weshalb sie sich gar nicht erst näher mit MILQ beschäftigen. Bei Janssen und Krüger handelt es sich ebenfalls um fachdidaktisch reflektierte Lehrkräfte. Sie sind im Gegensatz zu Kampe und Meyer erfahren sowie routiniert und gehen zielorientiert sowie improvisierend bei der Unterrichtsgestaltung und -durchführung vor. Da sie sich sicher beim Unterrichten von Quantenphysik fühlen, besteht für sie keine Notwendigkeit, ihr Unterrichtskonzept zu verändern. Somit investieren sie nur wenig Zeit in die Begutachtung von MILQ und setzen sich lediglich oberflächlich damit auseinander.

Peters und Schmidt sind hingegen wenig offen für neue Ansätze, da sie sich eng an einem ausgearbeiteten Skript bzw. einem Schulbuch orientieren und damit zufrieden sind. Infolgedessen suchen sie – unterstützt durch ihr stark pragmatisch geprägtes Verhalten – nur punktuell nach neuen Anregungen. Lenz agiert ebenfalls sehr pragmatisch, da sie allerdings das erste Mal Quantenphysik im Leistungskurs unterrichtet, besitzt sie noch kein ausgear-

beitetes Konzept. Sie findet MILQ jedoch zu anspruchsvoll und erarbeitet sich daher ein eigenes Konzept.

Insgesamt muss die ernüchternde Bilanz gezogen werden, dass bei einer fakultativen Bereitstellung von MILQ den Angaben der Lehrkräfte zufolge alle Personen – wenn überhaupt – nur einzelne ausgewählte Elemente implementieren. Aufgrund dessen wird das fachdidaktische Innovationspotential von MILQ nicht ausgeschöpft. Weiterhin ist zu vermuten, dass die meisten teilnehmenden Lehrkräfte wenig Wert auf eine Unterstützung des qualitativen Konzeptverständnisses legen.

Überdies legen die Befunde nahe, dass nur in einigen wenigen Fällen eine intensive und detaillierte Auseinandersetzung mit MILQ stattfindet. Stattdessen unterlassen die meisten Lehrkräfte nach einer oberflächlichen Sichtung von MILQ aufgrund ihres ersten Eindrucks bzw. aufgrund von Randbedingungen wie bspw. zeitlichen Ressourcen eine aktive und intensivere Auseinandersetzung. Dabei nehmen alle Lehrkräfte MILQ aus einem spezifischen Fokus wahr, der aus fachdidaktischer Perspektive wenig analytisch ist. Das lässt sich daran festmachen, dass die Ziele, die Sachstruktur sowie die Aufbereitung von MILQ nicht bzw. kaum im Sinne einer didaktischen Rekonstruktion analysiert werden – tatsächlich gehen nur wenige Lehrkräfte überhaupt auf die Ziele oder die Sachstruktur von MILQ ein, sondern äußern sich hauptsächlich zur Sichtstruktur wie etwa zu einzelnen Arbeitsblättern oder Simulationen. Es liegen viele Hinweise vor, denen zufolge es sich vermutlich nicht lediglich um eine Schwierigkeit der Explikation in den Interviews handelt, sondern eine tiefgehende Analyse von MILQ tatsächlich nicht erfolgt. Diese Einschätzung geht konform mit der Feststellung des insgesamt niedrig ausfallenden fachdidaktischen Reflexionsniveaus der teilnehmenden Lehrkräfte. Die Kenntnis von MILQ aus dem Studium scheint diesbezüglich kaum einen bzw. keinen Unterschied zu machen.

Zusammenfassend lässt sich folglich festhalten, dass nicht ohne Weiteres einzelne Wirkfaktoren abgeleitet werden können, welche das Materialnutzungsverhalten der teilnehmenden Lehrkräfte steuern. Stattdessen scheint es sich um ein Konglomerat aus Wirkfaktoren zu handeln, die ein komplexes Wirkgefüge bilden. Insgesamt können daher das Nutzungsverhalten und die dahinter liegenden Beweggründe als sehr individuell beschrieben werden. Wie aus der Gegenüberstellung der Fälle dennoch interindividuelle Handlungsmuster gebildet werden können, obgleich aufgrund des komplexen Wirkgefüges anscheinend keine einfachen Ursache-Wirkungszusammenhänge auszumachen sind, ist Gegenstand des folgenden Unterkapitels.

8.5. Rekonstruktion von Handlungsmustern

Aufgrund des komplexen Zusammenspiels verschiedener Bedingungsfaktoren können kaum belastbare Aussagen über den Einfluss einzelner Faktoren getroffen werden. Es erscheint vielmehr der Vergleich und die Kontrastierung von Merkmalsgruppen über die Fälle sinnvoll. Daher werden in diesem Unterkapitel auf der Basis der bisherigen Erkenntnisse interindividuelle Handlungsmuster der Implementierung von MILQ rekonstruiert, um Wirkmechanismen der Materialnutzung auf einer höheren Aggregationsebene zu charakterisieren und generalisierbare Erkenntnisse aus den Einzelfallbeschreibungen abzuleiten. Aufgrund der großen individuellen Unterschiede im Nutzungsverhalten richtet sich der Fokus dabei auf personenbezogene und weniger auf materialbezogene Merkmale.

Für die Bildung von Handlungsmustern wird die Methode der typenbildenden qualitativen Inhaltsanalyse verwendet, da sie gut anschlussfähig an die vorausgehende inhaltlich strukturierende sowie evaluative qualitative Inhaltsanalyse ist (vgl. Kuckartz, 2018). Sie fungiert zudem als eine Art Bindeglied zwischen einer hermeneutischen Methodik und der qualitativen Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018), was für die vorliegende Arbeit insofern zielführend ist, als für die Rekonstruktion interindividueller Handlungsmuster eine holistische und interpretative Betrachtung der Einzelfälle notwendig ist, um einzelne Äußerungen und Verhaltensweisen zu einem Gesamtbild zusammenzufügen und angemessen zu gewichten.

Zur Festlegung eines Merkmalsraums der Typenbildung wird das in Unterkapitel 3.3 vorgestellte *Modell der Implementierung fachdidaktisch innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen* (vgl. Gregoire, 2003) als theoretisch fundiertes Analysewerkzeug herangezogen. Das Modell ist für die Ableitung von Handlungsmustern geeignet, da es das Zusammenspiel verschiedener personenbezogener Bedingungsfaktoren der Materialnutzung modelliert. Eine empirische Überprüfung der Anwendbarkeit dieses auf die Materialnutzung adaptierten Modells steht allerdings noch aus, weshalb mit der Typenbildung zugleich das Ziel einer empirischen Legitimierung des Modells verfolgt wird.

Der Rekonstruktionsprozess vollzieht sich in vier Schritten. Zuerst wird das Nutzungsverhalten der einzelnen Personen anhand des Modells auf der Basis der Fallbeschreibungen aus Unterkapitel 8.3 rekonstruiert. Die Kategorien aus der vorausgegangenen inhaltlich strukturierenden und evaluativen qualitativen Inhaltsanalyse können dazu jedoch nicht als Grundlage für die Einordnung eines Falls ins Modell dienen, da für eine direkte, theoriegeleitete Zuordnung der Kategorien zu den Entscheidungsstellen im Modell aufgrund der deduktiv-induktiven Kategorienbildung nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse aus der bisherigen Forschung vorliegen. Daher erfolgt die Einord-

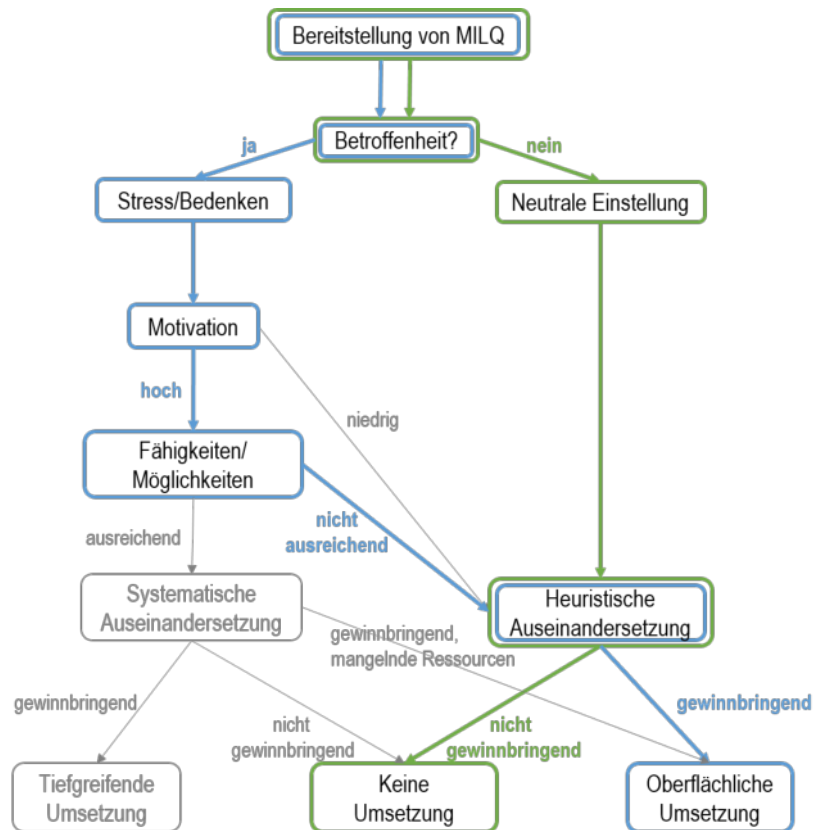


Abbildung 8.32.: Die beiden abgeleiteten Handlungsmuster: aufgeschlossene*r Pragmatiker*in (grün) und Innovationsinteressierte*r (blau).

nung einer Person ins Modell interpretativ auf der Basis einer ganzheitlichen Fallbetrachtung, in Anlehnung an die Fallbeschreibungen und unter Bezugnahme von Textbelegen zu den einzelnen Entscheidungsstellen im Modell. Eine Zuordnung der jeweils handlungsleitenden Kategorien aus der qualitativen Inhaltsanalyse erfolgt erst danach deduktiv-induktiv. Der Ablauf dieser beiden Schritte im Rekonstruktionsprozess wird in Abschnitt 8.5.3 anhand von zwei Fallbeispielen ausführlicher erläutert.

In einem dritten Schritt werden aus der Einordnung der Einzelfälle ins Modell durch Fallvergleiche typische Handlungsmuster identifiziert. Abschließend werden in einem letzten Schritt durch den Vergleich und die Kontrastierung der Fälle charakteristische Merkmalsausprägungen des jeweiligen Handlungstyps anhand der zugeordneten handlungsleitenden Kategorien aus der qualitativen Inhaltsanalyse abgeleitet.

Durch die Verknüpfung der Rekonstruktion des Nutzungsverhaltens anhand des adaptierten Modells und der Kategorien aus der qualitativen Inhaltsanalyse kann das Nutzungsverhalten differenzierter dargestellt werden

und es können darüber hinaus Beweggründe sowie potentielle Erklärungen für das Verhalten abgeleitet werden. Es handelt sich bei dieser Vorgehensweise um die Bildung merkmalsheterogener Typen, da die Einzelfälle aufgrund der komplexen, mehrdimensionalen Handlungsmuster nicht in allen Merkmalen übereinstimmen (vgl. Kuckartz, 2018). Dennoch weisen die Personen innerhalb eines Typs mehr Ähnlichkeiten auf als zu Personen eines anderen Typs.

Aus der Zuordnung der Fälle ins Modell können zwei typische Handlungsmuster festgestellt werden: aufgeschlossene*r Pragmatiker*in und Innovationsinteressierte*r (vgl. Abb. 8.32). Im Folgenden werden die abgeleiteten Handlungsmuster mit ihren charakteristischen Merkmalsausprägungen bzw. ihrem charakteristischen Zusammenspiel verschiedener Merkmale vorgestellt. Im Anschluss wird in Abschnitt 8.5.3 exemplarisch für je einen prototypischen Fall der Rekonstruktionsprozess der Handlungsmuster skizziert.¹⁰⁵

8.5.1. Aufgeschlossene*r Pragmatiker*in

Die anschließende Vorstellung des Handlungsmusters der aufgeschlossenen Pragmatiker*innen ist nicht als chronologische Schrittfolge im Nutzungsverhalten, sondern als Strukturmodell zu verstehen (vgl. Abb. 8.33). Diesem Handlungsmuster werden drei Lehrkräfte zugeordnet: Peters, Schmidt und Janssen. Sie weisen *einen geringen Bedarf* an Unterstützung durch MILQ auf, da sie alle Quantenphysik schon mehrfach unterrichtet haben und mit ihrem bisherigen Vorgehen zufrieden sind (vgl. George, Hall & Stiegelbauer, 2008). Das äußert sich bei Schmidt und Janssen in hohen Selbstwirksamkeitserwartungen beim Unterrichten von Quantenphysik. Peters besitzt ein ausgearbeitetes Unterrichtsskript, an dem er sich eng orientiert, und Schmidt findet den Dorn/Bader als Schulbuch qualitativ hochwertig, weshalb er danach seinen Unterricht ausrichtet. Janssen gibt hingegen an, sich nie eng an vorgegebenen Materialien zu orientieren, sondern es zu bevorzugen, sich eigenständig eine Unterrichtsreihe zusammenzustellen. Dieses Verhalten spiegelt sich neben ihren genutzten Materialien auch in ihren Vorstellungen zur Materialnutzung wider. Weiterhin sind alle drei Lehrkräfte sehr pragmatisch und vermeiden daher unnötigen Arbeitsaufwand. Peters äußert zwar fachliche Unsicherheiten zur Quantenphysik, sein Desinteresse an dem Thema reduziert jedoch sein Bedürfnis nach fachlichen Unterstützungsmaßnahmen.

¹⁰⁵Diese Ausführungen erläutern das methodische Vorgehen der Typenbildung und dienen nicht der Erkenntnisbeschreibung. Da sie allerdings auf den Fallbeschreibungen aus Unterkapitel 8.3 aufbauen, wurden sie nicht bei der Vorstellung der Datenauswertung in Kapitel 7 verortet.

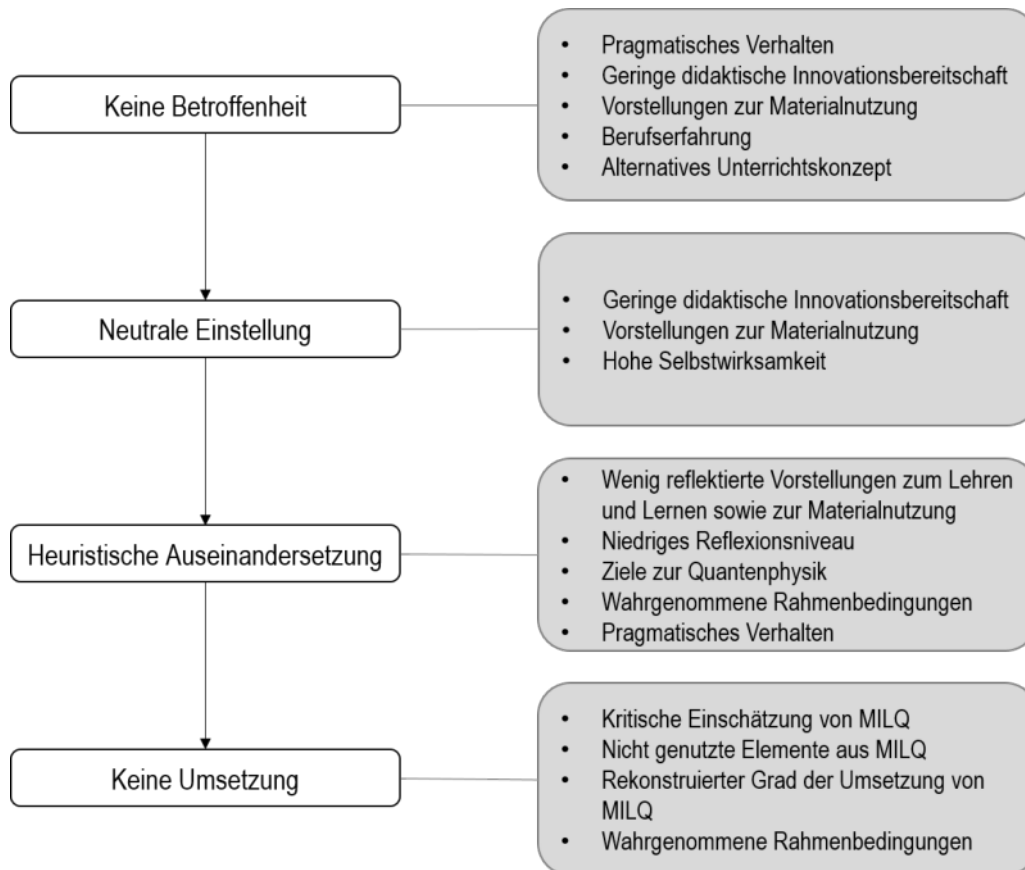


Abbildung 8.33.: Charakterisierung des Handlungsmusters *aufgeschlossene*r Pragmatiker*in*.

Aufgrund des geringen Bedarfs haben die drei Lehrkräfte *eine neutrale Einstellung* gegenüber MILQ. Sie sind lediglich beiläufig an MILQ interessiert, um daraus möglicherweise kleine Impulse für ihren Unterricht abzuleiten. Bei Janssen steht allerdings für die Auseinandersetzung mit MILQ weniger sein eigener Unterricht im Vordergrund als vielmehr sein Interesse als Fachleiter an der Kenntnis von fachdidaktischen Entwicklungsprojekten.

Aus dieser neutralen Einstellung resultiert *eine heuristische Auseinandersetzung* mit MILQ, da die betreffenden Lehrkräfte von vornherein keine enge Orientierung an dem Konzept anstreben. Für Peters ist dabei die Suche nach Experimentiervorschlägen handlungsleitend, weshalb er sich mit weiten Teilen von MILQ nicht näher beschäftigt. Seine Auseinandersetzung mit MILQ fällt daher seinen Angaben zufolge wenig zeitintensiv aus. Schmidt setzt sich im Gegensatz dazu durchaus intensiv mit MILQ auseinander, wobei er sich aufgrund seiner fachlich orientierten Grundposition und seiner Begeisterung für Quantenphysik vor allem mit fachlich anspruchsvollen, weiterführenden Themenbereichen aus MILQ beschäftigt. Sowohl Peters als auch Schmidt

betrachten MILQ primär aus einem fachlichen Blickwinkel. Beide nehmen dabei wenig die Perspektive ihrer Schüler*innen ein. Janssen setzt sich wegen der aufgrund seiner Fachleitertätigkeit begrenzten Vorbereitungszeit von Unterricht und seines ausgeprägt pragmatischen Verhaltens ebenfalls nur oberflächlich mit MILQ auseinander. Er gibt wie Peters an, weite Teile von MILQ gar nicht gelesen zu haben. Alle drei Lehrkräfte gehen kaum bis gar nicht auf die Ziele und das fachdidaktische Innovationspotential von MILQ im Vergleich zum herkömmlichen Weg, Quantenphysik zu unterrichten, ein.

Auf der Basis ihrer Ausgangsvoraussetzungen und ihrer heuristischen Auseinandersetzung kommen sie zu *keiner gewinnbringenden Einschätzung* von MILQ, da MILQ ihnen ihrer Meinung nach keine neuen Ideen für ihren Unterricht liefert. Dabei bezieht sich Peters gemäß seiner Vorstellungen zum Lehren und Lernen auf die in MILQ vorgeschlagenen Experimente, welche er als „Standardexperimente“ (Peters, I2, 118) der Quantenphysik bezeichnet. Schmidt vergleicht hingegen das Inhaltsverzeichnis von MILQ mit dem Dorn/Bader und kann auf dieser Basis keinen Unterschied in der Vorgehensweise feststellen. Er findet zwar einige der fachlich anspruchsvolleren Kapitel aus MILQ durchaus gelungen – da sie aber über den Lehrplan hinausgehen, sieht er auch darin keinen Mehrwert für seinen Unterricht. Janssen schätzt MILQ zwar als qualitativ hochwertig ein, findet es aber nicht authentisch, seinen Unterricht nicht in seinem Stil abzuhalten. Aufgrund dieser abschließenden Einschätzung erfolgt *keine Umsetzung von MILQ* im Unterricht dieser drei Lehrkräfte – es kommt folglich zu keinem Transfer der fachdidaktischen Innovation aus MILQ.

8.5.2. Innovationsinteressierte*r

Das zweite Handlungsmuster beschreibt das Nutzungsverhalten der verbleibenden acht Lehrkräfte Kruse, Lenz, Schneider, Leinert, Krüger, Lücking, Kampe und Meyer (vgl. Abb. 8.34). Bei diesen Lehrkräften besteht *ein Bedarf* an MILQ als Unterrichtskonzeption (vgl. George, Hall & Stiegelbauer, 2008). Die Gründe hierfür sind eine hohe didaktische Innovationsbereitschaft (Kruse, Leinert & Schneider), ein großes Interesse an Quantenphysik (Kruse, Leinert, Schneider & Lücking), niedrige Selbstwirksamkeitserwartungen beim Unterrichten von Quantenphysik (Kruse, Leinert & Lücking) bzw. das Bedürfnis der Überarbeitung des eigenen Konzepts (Krüger & Kampe), das Fehlen eines ausgearbeiteten Konzepts (Lenz, Lücking & Meyer) sowie die Suche nach Experimentiervorschlägen und Anwendungsbezügen (Schneider, Leinert & Krüger). Dies trifft sowohl auf Lehrkräfte mit langjähriger Berufserfahrung als auch auf Novizenlehrkräfte zu. Ein Geschlechtereffekt ist nicht zu vermuten, obgleich alle drei teilnehmenden Lehrerinnen diesem Typus zugeordnet sind.

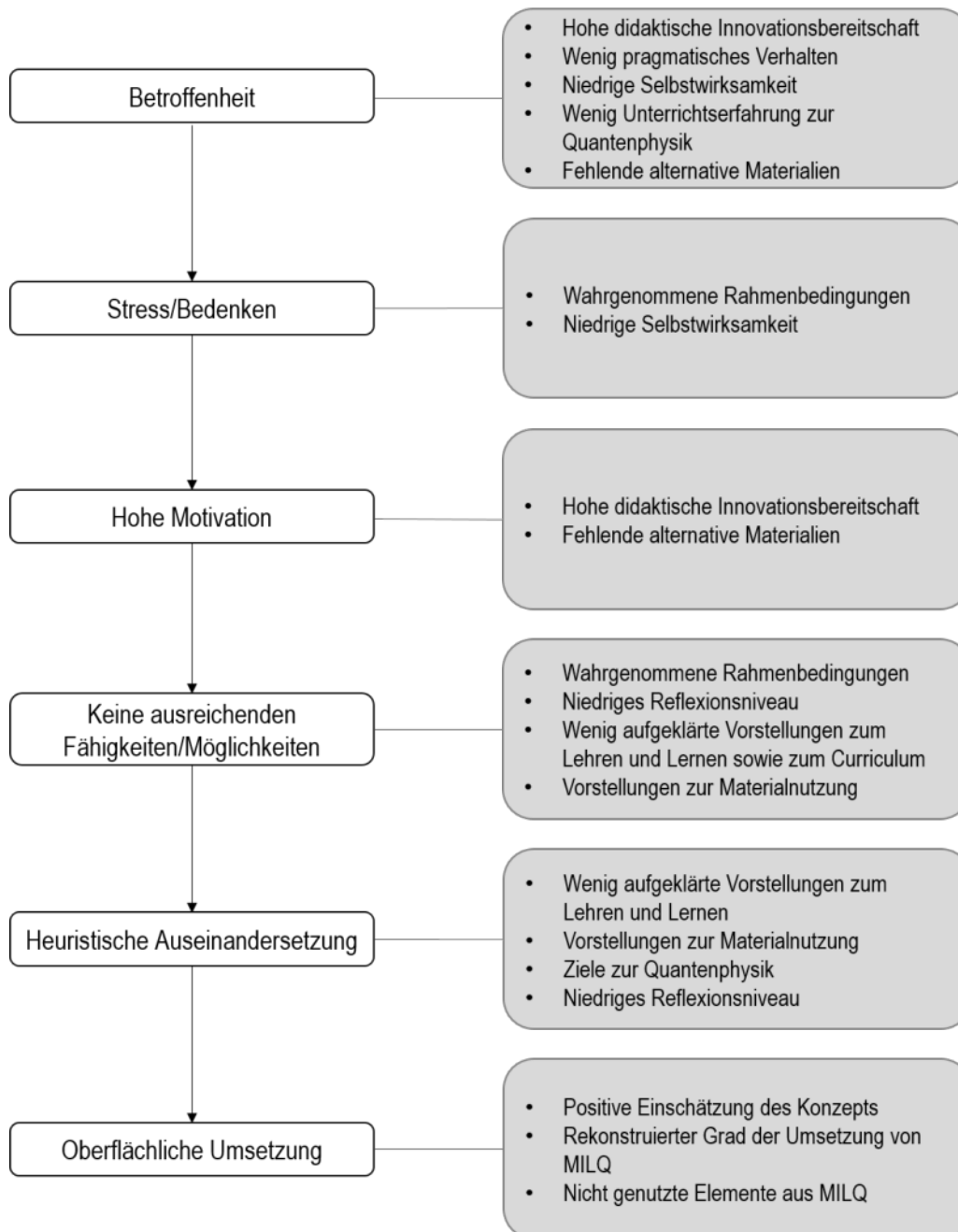


Abbildung 8.34.: Charakterisierung des Handlungsmusters *Innovationsinteressierte*r*.

Der empfundene Bedarf führt bei den Lehrkräften zu *Stress oder Bedenken* in Bezug auf die Umsetzung von MILQ, da sie Schwierigkeiten in der Einhaltung externer Randbedingungen sehen. Das bezieht sich vor allem auf die Vorgaben des Lehrplans, die verfügbare Unterrichtszeit sowie die eigene Vorbereitungszeit. Bei Leinert und Lücking verursachen weiterhin auch fachliche Unsicherheiten in Bezug auf die Quantenphysik Bedenken.

Aus ihrer Betroffenheit resultiert bei allen acht Lehrkräften trotz ihrer Bedenken *eine hohe Motivation*, MILQ in ihrem Unterricht umzusetzen. Allerdings weisen alle acht Lehrkräfte *nicht ausreichend Fähigkeiten oder Möglichkeiten* für eine systematische Auseinandersetzung auf. Das ist bei den unterschiedlichen Lehrkräften teilweise auf verschiedene Faktoren zurückzuführen. Alle Lehrkräfte geben an, durch externe Rahmenbedingungen wie den Lehrplanvorgaben, ihren zeitlichen Ressourcen für die Unterrichtsvorbereitung sowie der verfügbaren Unterrichtszeit eingeschränkt zu sein. Lenz, Schneider, Krüger und Meyer fühlen sich durch solche externen Faktoren jedoch stärker eingeschränkt als die übrigen vier Lehrkräfte. Darüber hinaus sind für eine analytische Auseinandersetzung mit dem fachdidaktischen Innovationspotential gewisse kognitive, affektive und volitionale Ressourcen erforderlich, die allerdings bei den betreffenden Lehrkräften aufgrund von Faktoren wie einem extrem pragmatischen Verhalten, ungünstigen Vorstellungen zum Lehren und Lernen, wenig reflektierten curricularen Vorstellungen, den Vorstellungen zur Materialnutzung oder einer geringen Reflexionstiefe nicht erfüllt sind. Weitergehende Auskünfte zum Professionswissen können nicht gegeben werden, da dieses nicht direkt erhoben wurde. Daraus resultiert, dass sich Krüger, Kampe und Meyer insgesamt wenig intensiv mit MILQ auseinandersetzen und nur gezielt mit einzelnen Elementen genauer befassen. Auf diese Weise findet keine Auseinandersetzung mit dem gesamten Unterrichtskonzept statt. Die verbleibenden fünf Lehrkräfte nehmen sich hingegen mehr Zeit für die Auseinandersetzung mit MILQ. Aber sie beschäftigen sich ebenfalls lediglich mit der Sichtstruktur von MILQ und konzentrieren sich auf bestimmte Elemente.

Möglicherweise ist allerdings die hohe Motivation zur Auseinandersetzung mit MILQ bei einigen Lehrkräften lediglich vordergründig, denn es liegen zu mehreren Personen Hinweise vor, dass sie insgesamt eher eine geringe Bereitschaft aufweisen, ihre bisherige Unterrichtspraxis abzuändern. Daher führt möglicherweise bei einigen Personen bereits eine geringe Motivation zu einer heuristischen Auseinandersetzung mit MILQ, was anhand der vorliegenden Daten jedoch nicht abschließen geklärt werden kann.

Alle acht Lehrkräfte schätzen MILQ für die fachliche Unterrichtsvorbereitung und für bestimmte Unterrichtsstunden als *gewinnbringend* ein. Daher kann bei allen acht Lehrkräften *eine oberflächliche Umsetzung* beobachtet werden, bei der einzelne ausgewählte Elemente aus MILQ im Unterricht

implementiert werden. Der Grad der Umsetzung ist bei den verschiedenen Personen unterschiedlich stark ausgeprägt. Leinert und Kruse setzen bspw. vergleichsweise viele Elemente aus MILQ um, wohingegen Meyer nur eine Simulation aus MILQ während der gesamten Unterrichtsreihe zur Quantenphysik implementiert. Es kommt folglich bei keiner der acht Lehrkräfte zu einem Transfer der fachdidaktischen Innovation aus MILQ, insbesondere auf der Ebene der Tiefenstruktur.

8.5.3. Exemplarische Beschreibung des Rekonstruktionsprozesses

Im Folgenden wird exemplarisch an je einem prototypischen Fall der Rekonstruktionsprozess für beide Handlungsmuster beschrieben, um das methodische Vorgehen der Typenbildung zu verdeutlichen. Eine Diskussion der verschiedenen Nutzungsmuster folgt im Anschluss.

Die Einordnung der Fälle ins *Modell der Implementierung fachdidaktisch innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen* (vgl. Gregoire, 2003) wird anhand der folgenden Leitfragen, die sich aus den zentralen Entscheidungsstellen des Modells ergeben, und ausgehend von den Einzelfallbeschreibungen vorgenommen (vgl. Abb. 8.32):

- a) Inwiefern fühlt sich die Lehrperson betroffen, MILQ für ihren Unterricht zu nutzen?
- b) Setzt sich die Lehrperson systematisch oder heuristisch mit MILQ auseinander?
- c) Schätzt die Lehrperson eine Implementierung von MILQ als gewinnbringend für ihren Unterricht ein?
- d) Inwiefern erfolgt eine Umsetzung von MILQ im Unterricht?

Im Anschluss an die Klärung dieser Leitfragen wird der jeweilige Fall in Bezug auf die verbleibenden Entscheidungsfragen des Modells analysiert (bspw. inwieweit ist die Lehrperson motiviert, sich mit MILQ auseinanderzusetzen). Diese Einordnung wird nun beispielhaft an den Fällen Mario Peters für das Handlungsmuster *aufgeschlossene*r Pragmatiker*in* und Carolin Schneider für das Handlungsmuster *Innovationsinteressierte*r* vorgeführt.

Rekonstruktionsprozess des Handlungsmuster *aufgeschlossene*r Pragmatiker*in* am Beispiel von Mario Peters

Für die Rekonstruktion des Nutzungsverhaltens von MILQ wird Peters in einem ersten Analyseschritt auf der Basis seiner Fallbeschreibung in das *Mo-*

dell der Implementierung fachdidaktisch innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen (vgl. Gregoire, 2003) eingeordnet. Dazu werden die Entscheidungsstellen im Modell anhand der aufgestellten Leitfragen schrittweise geklärt.

Inwiefern fühlt sich Peters betroffen, MILQ für seinen Unterricht zu nutzen?

Peters äußert keinen Bedarf an einem Unterrichtskonzept zur Quantenphysik, da er ein ausgearbeitetes Skript zur Quantenphysik besitzt und keinen Anlass für eine Überarbeitung sieht. Er gibt zwar an, sich fachlich etwas unsicher in Bezug auf die Quantenphysik zu fühlen, aber aufgrund seines geringen Interesses an dem Themenfeld strebt er keine intensivere Auseinandersetzung mit der Quantenphysik an. Peters weist lediglich ein beiläufiges Interesse an MILQ auf, weil er weitere Realexperimente in sein Konzept integrieren möchte.

Daher ist er MILQ gegenüber neutral eingestellt, was sich bspw. darin äußert, dass er der Auseinandersetzung mit MILQ keine hohe Priorität einräumt: „Ja die ersten paar Seiten [von MILQ] habe ich mal durchgelesen, aber dann hatte ich noch andere Sachen zu erledigen“ (I1, 132). MILQ stellt für ihn folglich eine zusätzliche Quelle für Anregungen dar, die aber keinen hohen Stellenwert einnimmt.

Setzt sich Peters systematisch oder heuristisch mit MILQ auseinander?

Das Modell prognostiziert, dass bei keiner Betroffenheit der Lehrperson eine heuristische Auseinandersetzung erfolgt, was in der Tat bei Peters zu beobachten ist. Das lässt sich an den folgenden Aspekten festmachen. Peters betrachtet nur ausgewählte Elementen aus MILQ und befasst sich mit dem Großteil des Konzepts nicht näher, sodass zwangsläufig keine Auseinandersetzung mit der Tiefenstruktur des Konzepts erfolgen kann. Bei den ausgewählten Elementen handelt es sich in erster Linie um die in MILQ vorgeschlagenen Experimente.

In Bezug auf das fachdidaktische Innovationspotential von MILQ geht Peters lediglich auf die Einführung des Präparationsbegriffs in Kapitel 2 ein, den er daraufhin in seinem Unterricht ebenfalls verwenden möchte. Auf alle weiteren Aspekte des fachdidaktischen Innovationspotentials von MILQ wie der Fokussierung von Deutungsfragen für die Unterstützung eines qualitativen Verständnisses, der MILQ einheitlich zugrundeliegenden Ensemble-Interpretation für eine kohärente Lesart der Quantenphysik oder der Schülerorientierung bspw. durch die Bereitstellung von Simulationen geht Peters nicht ein. Da er aber angibt, dass MILQ ihm keine neuen Anregungen für seinen Unterricht liefere, ist davon auszugehen, dass Peters den innovativen

Charakter von MILQ im Vergleich zum herkömmlichen Weg, Quantenphysik zu unterrichten, nicht wahrnimmt.

Schätzt Peters eine Implementierung von MILQ als gewinnbringend für seinen Unterricht ein?

MILQ beinhaltet keine für Peters neue Experimentieranschläge, weshalb er keinen Mehrwert in einer Implementierung von MILQ sieht, da er darüber hinaus mit seinem Skript zur Quantenphysik zufrieden ist.

Inwiefern erfolgt eine Umsetzung von MILQ im Unterricht?

Aufgrund seiner Einschätzung von MILQ setzt Peters keine Elemente daraus in seinem Unterricht um. Er gibt lediglich an, von MILQ dazu angeregt worden zu sein, den Präparationsbegriff im Unterricht zu verwenden sowie den Ausgang des Doppelspalt-Versuches von Elektronen und klassischen Teilchen miteinander zu vergleichen. Zusammenfassend lässt sich jedoch festhalten, dass Peters MILQ als Unterrichtskonzeption nicht umsetzt.

In einem zweiten Analyseschritt werden nun die für Peters handlungsleitenden Kategorien aus der qualitativen Inhaltsanalyse den verschiedenen Entscheidungsstellen des Modells deduktiv-induktiv zugeordnet. *Der mangelnde Bedarf* an einer Unterrichtskonzeption zur Quantenphysik ist auf sein ausgearbeitetes Skript, seine Vorstellungen zur Materialnutzung (Vereinbarkeit mit dem eigenen Vorgehen) (vgl. Gräsel & Parchmann, 2004; Schrader et al., 2020), sein pragmatisches Verhalten (vgl. Müller-Bittner, 2008; Breuer, Vogelsang & Reinhold, 2018b) sowie seine geringe didaktische Innovationsbereitschaft (vgl. Louws et al., 2017) zurückzuführen. Aufgrund seiner Routine, alternativer Unterrichtsmaterialien zur Quantenphysik sowie seines geringen Interesses an Quantenphysik bringt er MILQ daher eine *neutrale Einstellung* entgegen (vgl. Gregoire, 2003; George, Hall & Stiegelbauer, 2008; Louws et al., 2017).

Seine heuristische Auseinandersetzung mit MILQ wird durch seine Vorstellungen zum Lehren und Lernen (fachlich orientierte Grundposition und Handlungsorientierung durch das Experiment) (vgl. Gregoire, 2003; Roehrig, Kruse & Kern, 2007; Jones & Carter, 2010; Eylon & Hofstein, 2015), seine fachdidaktisch oberflächliche Reflexion (vgl. Gregoire, 2003; Tobias, 2010), die von ihm verfolgten Unterrichtsziele (vgl. Vos et al. 2011; Boesen et al., 2014; Davis et al., 2017) und sein pragmatisches Verhalten gesteuert. *Seine wenig gewinnbringende Einschätzung* äußert sich in seiner MILQ entgegengebrachten Kritik und in nur wenigen lobenden Äußerungen. Dass es zu *keiner Umsetzung von MILQ* kommt, kann anhand der nicht genutzten Elemente und dem Grad der Umsetzung von MILQ bestätigt werden.

Rekonstruktionsprozess des Handlungsmusters *Innovationsinteressierte*r* am Beispiel von Carolin Schneider

Für die Rekonstruktion des Nutzungsverhaltens von MILQ wird auch Schneider in einem ersten Analyseschritt auf der Basis ihrer Fallbeschreibung in das *Modell der Implementierung fachdidaktisch innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen* (vgl. Gregoire, 2003) eingeordnet. Dazu werden wie zuvor bei Peters die Entscheidungsstellen im Modell anhand der aufgestellten Leitfragen schrittweise geklärt.

Inwiefern fühlt sich Schneider betroffen, MILQ für ihren Unterricht zu nutzen?

Schneider gibt an, sich von MILQ „neue Impulse für den Unterricht“ (I1, 10) zu erhoffen und dazu bereit zu sein, ihren „Unterricht [...] zu überarbeiten“ (I1, 10). Folglich kann bei ihr ein Bedarf an Unterstützungsmaßnahmen zur Quantenphysik festgestellt werden. Das Modell prognostiziert, dass dadurch Stress oder Bedenken bei der Lehrperson in Bezug auf die Umsetzung des neuen Konzepts ausgelöst werden. Tatsächlich gibt Schneider im Einstiegsinterview an, Bedenken bei der Umsetzung zu haben, da MILQ eine andere Sachstruktur als ihr schulinternes Curriculum aufweist. Sie prüft daher, inwieweit MILQ trotzdem ihre schulinternen Vorgaben erfüllt. Trotz dieser Bedenken kann aus ihrem Bedarf und ihrer grundsätzlich aufgeschlossenen und wissbegierigen Haltung eine hohe Motivation bezüglich der Umsetzung von MILQ festgestellt werden.

Setzt sich Schneider systematisch oder heuristisch mit MILQ auseinander?

Schneider verfügt nicht über die nötigen Fähigkeiten und Möglichkeiten für eine systematische Auseinandersetzung mit MILQ, weshalb sie sich lediglich heuristisch mit MILQ auseinandersetzt. Das ist zum einen auf das bereits erwähnte schulinterne Curriculum als Rahmenbedingung zurückzuführen. Zum anderen agiert Schneider in ihrer Unterrichtsplanung, -durchführung und -reflexion fachdidaktisch wenig reflektiert, was sich ebenfalls in ihrer Auseinandersetzung mit MILQ bemerkbar macht. Sie befasst sich lediglich mit „Schnipsel[n]“ (I1, 89) aus MILQ auf Sichtstrukturebene wie Arbeitsblättern oder Simulationen, aber nicht mit der Tiefenstruktur des Konzepts. Dementsprechend geht sie nicht auf das fachdidaktische Innovationspotential von MILQ wie der Fokussierung von Deutungsfragen für die Unterstützung eines qualitativen Verständnisses, der MILQ einheitlich zugrundeliegenden Ensemble-Interpretation für eine kohärente Lesart der Quantenphysik, der Begriffsbildung zur Vermeidung eines mechanistischen Denkens oder der Schülerorientierung bspw. durch die Bereitstellung von Simulationen ein.

Schätzt Schneider die Implementierung von MILQ als gewinnbringend ein?
Schneider schätzt MILQ als gewinnbringend für ihren Unterricht ein und bezeichnet es als „total super“ (I1, 83).

Inwiefern erfolgt eine Umsetzung von MILQ im Unterricht?

Aufgrund dieser Einschätzung setzt Schneider Teile aus MILQ in ihrem Unterricht ein. Ihre Umsetzung beschränkt sich allerdings auf ein Arbeitsblatt und den Lehrtext als Anregung für die Behandlung des Mach-Zehnder-Interferometers. Sie implementiert folglich nur einige wenige ausgewählte Elemente aus MILQ und nicht das zugrundeliegende Konzept.

In einem zweiten Analyseschritt werden nun die für Schneider handlungsleitenden Kategorien aus der qualitativen Inhaltsanalyse den verschiedenen Entscheidungsstellen des Modells deduktiv-induktiv zugeordnet. Schneiders *Bedarf an MILQ* ist auf ihre didaktische Innovationsbereitschaft (vgl. Schrader et al., 2020), ihr wenig pragmatisches Verhalten und ihre vielseitige Materialnutzung (vgl. Müller-Bittner, 2008; Breuer, Vogelsang & Reinhold, 2018b) zurückzuführen. Ihre Bedenken bezüglich der Umsetzung von MILQ liegen vor allem in den Vorgaben ihres schulinternen Curriculums begründet (vgl. Gregoire, 2003; Schrader et al., 2020). Ihre dennoch *hohe Motivation*, MILQ umzusetzen, entspringt ihrer didaktischen Innovationsbereitschaft (vgl. George, Hall & Stiegelbauer, 2008; Schrader et al., 2020).

Ihre mangelnden Fähigkeiten und Möglichkeiten liegen in den Vorgaben durch den Lehrplan (vgl. Gregoire, 2003; Schrader et al., 2020) sowie ihrem vermutlich niedrigen Professionswissen (vgl. Gregoire, 2003; Tobias, 2010) begründet, was aufgrund ihrer wenig reflektierten Vorstellungen zum Lehren und Lernen und ihrer eher oberflächlichen fachdidaktischen und fachlichen Reflexion plausibel angenommen werden kann.

Ihre heuristische Auseinandersetzung mit MILQ wird vor allem von ihren Vorstellungen zum Lehren und Lernen (vgl. Gregoire, 2003; Roehrig, Kruse & Kern, 2007; McNeill, 2009; Jones & Carter, 2010; Eylon & Hofstein, 2015), ihren Unterrichtszielen (vgl. Vos et al. 2011; Boesen et al., 2014; Davis et al., 2017) sowie ihren Vorstellungen zur Materialnutzung (vgl. Gräsel & Parchmann, 2004; Schrader et al., 2020) gesteuert.

Schneiders *gewinnbringende Einschätzung von MILQ* äußert sich in ihrem Lob und ihren nur wenigen kritischen Bemerkungen. *Ihre oberflächliche Umsetzung von MILQ* kann an den nicht genutzten Elemente und dem Grad der Umsetzung von MILQ festgemacht werden.

8.6. Zusammenfassung der Ergebnisse

Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung der Implementierung der evidenzbasierten, fachdidaktisch innovativen Unterrichtskonzeption MILQ durch Lehrkräfte unter authentischen Randbedingungen.¹⁰⁶ Aus den Ergebnissen folgt, dass die verschiedenen Bedingungsfaktoren der Materialnutzung von MILQ ein komplexes Wirkgefüge bilden. Da eine fachdidaktisch innovative Unterrichtskonzeption ein Lernangebot für Lehrkräfte darstellt, hängt ihre Implementierung vielmehr „von der individuellen Nutzung durch die Lernenden – also in diesem Fall die Lehrkräfte – ab“ (Kunter et al., 2011, 62). Insofern sollte die Implementierung einer fachdidaktisch innovativen Unterrichtskonzeption als doppelter Angebots-Nutzungsprozess auf der Ebene der Bereitstellung der Unterrichtskonzeption und auf der Ebene der Implementierung im Unterricht modelliert werden (vgl. Kunter et al., 2011; Schrader et al., 2020).¹⁰⁷

Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden die Forschungsfragen entlang der Angebots-Nutzungsstruktur mit der bereitgestellten Unterrichtskonzeption MILQ als Angebot und der Implementierung durch die teilnehmenden Lehrkräfte als Nutzung beantwortet. Die Nutzung des Lernangebots durch die Schüler*innen wird in der vorliegenden Untersuchung nicht näher analysiert. Die gewonnenen Erkenntnisse werden vor dem Hintergrund der bestehenden Literatur eingeordnet.

Welche Merkmale der Unterrichtskonzeption MILQ haben Einfluss auf die Implementierung?

Die bereitgestellte Unterrichtskonzeption MILQ bildet als Unterrichtsvorschlag für die Quantenphysik im Sinne des Modells ein Angebot für Lehrkräfte. Die teilnehmenden Lehrkräfte üben aufgrund des hohen Anforderungsniveaus, des hohen Umfangs und der mangelnden Lehrplankongruenz Kritik an MILQ (vgl. Merzyn, 1994; Schrader et al., 2020), wobei die Einschätzungen der Lehrkräfte diesbezüglich individuell sehr unterschiedlich ausfallen (vgl. Breuer, Vogelsang & Reinhold, 2020a). Positiv bewerten die teilnehmenden Lehrkräfte unterrichtsnahe Elemente wie Aufgaben oder Simulationen (vgl. Merzyn, 1994; Starauschek, 2003; Tarr et al., 2006; Möller, 2010; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012; Matic & Glasnovic Gracin, 2020), wobei

¹⁰⁶Auszüge dieses Unterkapitels wurden bereits in Breuer, Vogelsang und Reinhold (im Druck) publiziert.

¹⁰⁷Die Unterscheidung von Schrader et al. (2020) in förderliche und hemmende Determinanten der Implementierung evidenzbasierter Interventionen wird bewusst nicht in der postulierten Eindeutigkeit übernommen, weil dies der Komplexität der Angebots-Nutzungsheuristik nicht gerecht wird, da einige Faktoren nach den Befunden der vorliegenden Studie in verschiedenen Konstellationen sowohl implementationshemmend als auch implementationsförderlich sein können (bspw. Autonomiebestreben).

sich verschiedene Personen hierbei oftmals auf unterschiedliche Elemente aus MILQ beziehen. Weiterhin geben mehrere Lehrkräfte an, MILQ zur fachlichen Weiterbildung zu nutzen (vgl. Schneider & Krajcik, 2002; Kleickmann et al., 2016). Für fachdidaktische Anregungen wird MILQ hingegen nicht verwendet (vgl. Reinhold, 1997; Land, Tyminski & Drake, 2015; Siedel & Stylianides, 2018).

Es ist bezeichnend, dass der empirische Nachweis des Wirksamkeitspotentials von MILQ keinerlei Einfluss auf die Beurteilung der Qualität durch die Lehrkräfte hat. Diese fehlende Wertschätzung überrascht, da zum einen mehrere vorausgehende Untersuchungen zwar mangelnde Kenntnis von aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen aus der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung von Lehrkräften aufzeigen (Köller, Möller & Möller, 2013; Duit et al., 2014; Hetmanek et al., 2015; Bauer et al., 2017; Rochnia & Trempler, 2019), aber dennoch eine Wertschätzung empirischer Belege durch Lehrkräfte implizieren (Rochnia & Trempler, 2019). Zum anderen wäre bei Physiklehrkräften aufgrund ihres fachlichen Hintergrunds mit Physik als empirisch geprägter Disziplin eine höhere Wertschätzung wissenschaftlich geprüfter Erkenntnisse zu erwarten gewesen. Anscheinend findet keine Übertragung ihrer Kompetenz des evidenzbasierten Argumentierens (vgl. Trempler et al., 2015) von der Physik auf die fachdidaktische Forschung statt.¹⁰⁸

Überdies entfallen rund 40 % aller genannten Materialnutzungskriterien auf pragmatische Kriterien, etwa dem Arbeitsaufwand oder dem Kopieraufwand für die Lehrkraft, sodass die Qualität anscheinend nicht immer ausschlaggebend für die Materialauswahl ist (vgl. Merzlyn, 1994; Vollstädt et al., 1999; Schneider & Krajcik, 2002; Neumann, 2015). Dies spielt vor allem eine Rolle, wenn die Probanden MILQ mit alternativen Materialien wie Schulbüchern vergleichen (vgl. Damschroeder et al., 2009).

Die beobachtete heuristische Auseinandersetzung und die lediglich oberflächliche Umsetzung von MILQ werfen die Frage auf, inwieweit die in MILQ enthaltene fachdidaktische Innovation zu zeitaufwändig in der Umsetzung und zu komplex im Anspruch ist (vgl. Schrader et al., 2020). Die stark individuell geprägte Rezeption von MILQ erschwert jedoch allgemeingültige Rückschlüsse auf implementationsförderliche Materialmerkmale.

Welche Personenmerkmale beeinflussen das Nutzungsverhalten von MILQ?
Die festgestellten individuellen Unterschiede in der Nutzung des Materialangebots lassen auf einen großen Einfluss von Personenmerkmalen schließen. Einen wesentlichen Einflussfaktor stellen die Vorstellungen zum Lehren und Lernen der teilnehmenden Lehrkräfte dar, welche deren Wahrnehmung

¹⁰⁸Es ist sogar zu vermuten, dass Physiklehrkräfte teilweise bereits in Bezug auf die Physik inadäquate Vorstellungen über *nature of science* haben (Schulze Heuling, Mikelskis-Seifert & Nückles, 2015).

filtern und somit deren Auswahl von Elementen aus MILQ steuern (vgl. Gregoire, 2003; Roehrig, Kruse & Kern, 2007; McNeill, 2009; Jones & Carter, 2010; Eylon & Hofstein, 2015). Weiterhin beeinflusst die fachdidaktische Reflexionstiefe den Grad der analytischen Durchdringung von MILQ (vgl. Gregoire, 2003; Tobias, 2010). Bei einigen Lehrkräften konnten wenig durchdachte, teilweise unreflektierte Handlungsentscheidungen beobachtet werden, etwa die Handlungsorientierung durch Experimente. Insgesamt wird bei allen teilnehmenden Lehrkräften ein geringer fachdidaktischer Fokus auf Physikunterricht diagnostiziert, was auch die Auseinandersetzung mit MILQ prägt.

Zudem wirken sich Vorstellungen zur Materialnutzung, die einen sehr autonomen Umgang mit und eine selbstständige Zusammenstellung von Materialien begünstigen, hemmend auf die Implementierung des zugrundeliegenden Konzepts von MILQ aus (vgl. Gräsel & Parchmann, 2004; Lloyd & Behm, 2005; Schrader et al., 2020). Die daraus resultierende Nutzung von Materialien als Steinbruch kann als typisches Materialnutzungsverhalten von Lehrkräften (aus Deutschland) beschrieben werden (Vollstädt et al. 1999; Kahlert, Hedtke & Schwier, 2000; Beerenwinkel & Gräsel, 2005). Weiterhin beeinflussen curriculare Vorstellungen der Lehrkräfte, mit welchen Elementen aus MILQ sie sich näher beschäftigen und welche sie im Unterricht implementieren (vgl. Vos et al. 2011; Boesen et al., 2014; Davis et al., 2017).

Darüber hinaus hat der Grad der Ausprägung sowohl der didaktischen Innovationsbereitschaft als auch des pragmatischen Verhaltens Einfluss auf die Motivation der Lehrkräfte, sich mit MILQ zu beschäftigen (vgl. Louws et al., 2017; Schrader et al., 2020), nach alternativen Materialien zu suchen oder eigene Materialien zu entwickeln (vgl. Müller-Bittner, 2008; Breuer, Vogelsang & Reinhold, 2018b). Weiterhin können niedrige Selbstwirksamkeitserwartungen im Unterrichten von Quantenphysik, hervorgerufen durch fachliche Unsicherheiten, die Auseinandersetzung mit MILQ zur fachlichen Vorbereitung der Lehrkraft fördern (vgl. Möller, 2010), bei Verständnisschwierigkeiten allerdings auch reduzieren (vgl. Charalambous & Philippou, 2010).

Welche Rahmenbedingungen beeinflussen den Implementationsprozess?

Das Materialnutzungsverhalten der Lehrkräfte wird weiterhin durch externe Rahmenbedingungen beeinflusst. Curriculare Vorgaben durch den Lehrplan sind insbesondere bei der Beurteilung von Aufgaben und dem Anforderungsniveau für die teilnehmenden Lehrkräfte handlungsleitend. Die hohe Bedeutung der Lehrplanvorgaben spiegelt sich nur zum Teil in der Literatur wider (vgl. van Driel, Beijaard & Verloop, 2001; Härtig, Kauertz & Fischer, 2012; Lindvall, 2016; Schrader et al., 2020), viele Untersuchungen stellen im Gegensatz dazu eine geringe Relevanz oder sogar ein bewusstes Unterlau-

fen von Lehrplanvorgaben fest (vgl. Bromme & Hömberg, 1981; Seel, 1997; Vollstädt et al., 1999; Tebrügge, 2001; Gassmann, 2013). Letztere konzentrieren sich allerdings primär auf die Sekundarstufe I, weshalb anzunehmen ist, dass sich in der Oberstufe aufgrund des bevorstehenden Zentralabiturs die Relevanz der Lehrplanvorgaben für Lehrkräfte erhöht.

Darüber hinaus fördert der Mangel an Schülerexperimenten für die Oberstufe sowie an Realexperimenten zur Quantenphysik in der Regel die Implementierung der in MILQ enthaltenen Simulationen. Begrenzte zeitliche Ressourcen in Bezug auf die Unterrichtsplanung sowie auf die Unterrichtsdurchführung wirken sich hingegen implementationshinderlich aus (vgl. Kahler, Hedtke & Schwier, 2000; Gregoire, 2003; Niehaus, 2011; Lipowsky, 2014; Schrader et al., 2020).

Gibt es Interaktionseffekte zwischen Merkmalen untereinander?

Es werden Interaktionseffekte zwischen Bedingungsfaktoren sowohl innerhalb der drei Bereiche *Angebot*, *Nutzung* und *Kontext* als auch darüber hinaus beobachtet. Diese Schlussfolgerungen weisen allerdings einen vermehrt interpretativen oder hypothetischen Charakter auf.

Lehrkräfte mit einer handlungssteuernden Einstellung Experimenten gegenüber geben häufiger als andere Lehrkräfte fehlende Realexperimente zur Quantenphysik als die Nutzung beeinflussende Rahmenbedingung an, was darauf schließen lässt, dass die Vorstellungen der Lehrkräfte die wahrgenommene Relevanz der Rahmenbedingungen beeinflusst. Ferner scheinen die Kategorien *didaktisch innovationsbereit* und *pragmatisch* gegenläufig zu sein. Lehrkräfte mit einem ausgeprägt pragmatischen Verhalten nehmen ihre zeitlichen Ressourcen stärker limitierend wahr, was nur zum Teil mit zusätzlichen Tätigkeitsfeldern erklärt werden kann. Es ist anzunehmen, dass in diesem Zusammenhang weitere zugrundeliegende Faktoren wie etwa die Belastbarkeit oder die Anstrengungsbereitschaft einer Person ins Gewicht fallen, die in dieser Studie allerdings nicht erhoben wurden.

Ferner bilden die curricularen Vorgaben durch den Lehrplan eine zentrale Rahmenbedingung und darüber hinaus ein wichtiges Materialnutzkriterium für die teilnehmenden Lehrkräfte. Nichtsdestotrotz behandeln mehrere Lehrkräfte Themen, etwa die Verschränkung von Quantenobjekten, über den Lehrplan hinaus, was zudem die Bedeutsamkeit von (eigenen) curricularen Vorstellungen in Bezug auf die verfolgten Unterrichtsziele zeigt und ein Stück weit die kritische Begutachtung von Unterrichtsmaterialien auf der Basis von Lehrplanvorgaben relativiert.

Aufgrund des komplexen Zusammenspiels verschiedener Bedingungsfaktoren können kaum belastbare Aussagen über den Einfluss einzelner Faktoren getroffen werden. Es erscheint vielmehr die Betrachtung ganzer Merkmalsgruppen sinnvoll.

Können typische Handlungsmuster abgeleitet werden?

Für eine nähere Charakterisierung der einzelnen Fälle wurden daher inter-individueller Handlungsmuster rekonstruiert. Mithilfe des *Modells der Implementierung fachdidaktisch innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen* (vgl. Gregoire, 2003) als theoretisch fundiertes Analysewerkzeug konnten trotz der großen Unterschiede in den Personenmerkmalen und im Umgang mit MILQ zwei typische Handlungsmuster der teilnehmenden Lehrkräfte identifiziert werden. Das adaptierte Modell nach Gregoire (2003) eignet sich insofern für die Beschreibung von Handlungsmustern bei der Nutzung einer fachdidaktisch innovativen materialgestützten Unterrichtskonzeption und kann somit als adäquates Modell zur Beschreibung des Materialnutzungsverhaltens empirisch bestätigt werden.

Die beiden Handlungstypen unterscheiden sich im wahrgenommenen Bedarf der Lehrkräfte und in der daraus resultierenden Umsetzung von MILQ. Dem einen Handlungsmuster werden drei Lehrkräfte zugeordnet, welche als aufgeschlossene Pragmatiker*innen bezeichnet werden können. Es handelt sich hierbei um erfahrene Lehrkräfte, die wenig Bedarf an zusätzlichen Materialien zur Quantenphysik haben, da sie mit ihrem bisherigen Unterricht zur Quantenphysik zufrieden sind. Dementsprechend setzen sie sich zwar beiläufig interessiert, aber wenig zeitintensiv mit MILQ auseinander. Sie sehen keinen Mehrwert in einer Implementierung von MILQ im Vergleich zu ihrem sonstigen Vorgehen, weshalb sie MILQ nicht in ihrem Unterricht umsetzen.

Das zweite Handlungsmuster beschreibt das Vorgehen der restlichen acht teilnehmenden Lehrkräfte, den Innovationsinteressierten. Diese weisen einen Bedarf an Unterstützungsmaßnahmen für die Quantenphysik auf, was auf niedrige Selbstwirksamkeitserwartungen bzw. eine hohe didaktische Innovationsbereitschaft zurückzuführen ist. Daher weisen sie eine hohe Motivation für die Auseinandersetzung mit MILQ auf. Allerdings fehlen ihnen die Fähigkeiten bzw. die Möglichkeiten für eine systematische Auseinandersetzung, sodass sie sich ebenfalls lediglich heuristisch mit MILQ auseinandersetzen. Trotz einer gewinnbringenden Einschätzung von MILQ implementieren sie es lediglich oberflächlich, indem sie gezielt ausgewählte Elemente in ihren Unterricht integrieren.

Folglich wird das fachdidaktische Innovationspotential von MILQ von allen teilnehmenden Lehrkräften nicht erkannt, sodass ein Transfer auf Tiefenstrukturebene in die Schulpraxis misslingt.

Vor dem Hintergrund der gewonnenen Erkenntnisse der vorliegenden Untersuchung lassen sich keine einfachen Ursache-Wirkungszusammenhänge in Bezug auf die Implementierung evidenzbasierter, fachdidaktisch innovativer Unterrichtskonzeptionen schlussfolgern (vgl. Kleickmann et al., 2016). Es ist vielmehr zu vermuten, dass – ähnlich wie es Lipowsky (2019) für den

aktuellen Forschungsstand zu Fortbildungen konstatierte – zwar empirische Evidenzen zum Wirksamkeitspotential fachdidaktisch innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen vorliegen, diese aber nicht repräsentativ für die Materialnutzung von Lehrkräften im Berufsalltag sind, sondern lediglich zeigen, was im Optimalfall möglich ist.

9. Zusammenfassung der Arbeit

Abschließend wird in diesem Kapitel ein Überblick über die gesamte Arbeit gegeben, um die gewonnenen Erkenntnisse vor dem Hintergrund der Ausgangslage und der Rahmung dieser Untersuchung einzuordnen. Die Ausführungen bereiten die Schlussfolgerungen in Kapitel 10 vor, sind aber teilweise redundant zu vorausgehenden zusammenfassenden Kapiteln.

Die Intention der vorliegenden Arbeit ist es, den Implementationsprozess empirisch fundierter, fachdidaktisch innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen näher zu untersuchen, um Bedingungen abzuleiten, unter denen sich das Wirkpotential solcher Unterrichtskonzeptionen in Schule optimal entfalten kann. Aus der Literatur folgt, dass das Materialnutzungsverhalten von Lehrkräften ein komplexes Wirkgefüge von Personenmerkmalen, Materialmerkmalen und externen Randbedingungen bildet und die Nutzung daher individuell sehr unterschiedlich ausfallen kann (Kapitel 3). Dennoch implizieren zahlreiche Interventionsstudien, dass die Bereitstellung fachdidaktisch innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen einen vielversprechenden Ansatz zur Verbesserung schulischen Unterrichts darstellt. Allerdings setzen sich solche Materialien selten auf breiter Basis an Schulen durch.

Daher wurde im empirischen Teil der Arbeit der Forschungsfrage nachgegangen, wie Physiklehrkräfte mit einer empirisch fundierten, fachdidaktisch innovativen Unterrichtskonzeption bei einer fakultativen Bereitstellung umgehen, um das Zusammenspiel unterschiedlicher Einflussfaktoren der Implementierung unter authentischen Bedingungen zu untersuchen (Kapitel 4). Dazu wurde aufgrund des diffusen Forschungsstands ein explorativer Forschungsansatz mittels Fallstudien gewählt (Kapitel 5). Zur Erhöhung der Vergleichbarkeit der Fälle wurde kriteriengeleitet eine fachdidaktisch innovative Unterrichtskonzeption selektiert und den teilnehmenden Lehrkräften fakultativ zur Verfügung gestellt: das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik. Die Erfassung des Implementationsprozesses wurde mittels allgemeiner, leitfadengestützter Interviews, Unterrichtsbeobachtungen ausgewählter Unterrichtsstunden und *stimulated recalls* zur Nachbesprechung dieser realisiert.

Die Stichprobe der Haupterhebung setzt sich aus elf Physiklehrkräften zusammen, die mittels *Theoretical Sampling* ausgewählt wurden, um auch bei einer kleinen Stichprobe aufgrund unterschiedlicher Ausgangsvoraussetzungen der Lehrkräfte aussagekräftige Erkenntnisse zu gewinnen (Kapitel 6).

Die Auswertung der Interviews erfolgte mittels inhaltlich strukturierender und evaluativer qualitativer Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018) (Kapitel 7). Das Kategoriensystem wurde deduktiv-induktiv auf der Grundlage der Daten aus der Pilotierung entwickelt. Die Codierung der Interviews wurde von mehreren Codierer*innen vorgenommen und mittels diskursiver Konsensbildung zur Qualitätssicherung verhandelt.

Die gewonnenen Ergebnisse bestätigen die in der Literatur bereits identifizierten Einflussfaktoren der Implementierung (Kapitel 8). Obschon teilweise große individuelle Unterschiede im Materialnutzungsverhalten der teilnehmenden Lehrkräfte zu beobachten sind, können theoriegeleitet zwei übergeordnete Nutzungsmuster abgeleitet werden, denen alle teilnehmenden Lehrkräfte zugeordnet werden können. Diese Nutzungsmuster charakterisieren näher das Zusammenspiel unterschiedlicher Personenmerkmale. Das Nutzungsmuster der aufgeschlossenen Pragmatiker*innen zeichnet sich über wenig Bedarf an zusätzlichen Materialien zur Quantenphysik aus, da die betreffenden Lehrkräfte mit ihrem bisherigen Unterricht zur Quantenphysik zufrieden sind. Dementsprechend setzen sie sich zwar beiläufig interessiert, aber wenig zeitintensiv mit MILQ auseinander und sehen keinen Mehrwert in einer Implementierung von MILQ im Vergleich zu ihrem sonstigen Vorgehen.

Das zweite Muster der Innovationsinteressierten spiegelt einen Bedarf der betreffenden Lehrkräfte an Unterstützungsmaßnahmen für die Quantenphysik wider. Allerdings setzen sie sich aufgrund fehlender Fähigkeiten bzw. Möglichkeiten ebenfalls lediglich heuristisch mit MILQ auseinander. Trotz einer gewinnbringenden Einschätzung von MILQ implementieren sie es nur oberflächlich.

Es kommt daher in keinem Fall zu einer tiefgreifenden Umsetzung, bei der das zugrundeliegende fachdidaktische Konzept von MILQ übernommen wird. Der Transfer der fachdidaktischen Innovation gelingt also im Sinne einer tiefgreifenden Umsetzung im Unterricht nicht. Das kann darauf zurückgeführt werden, dass die Auseinandersetzung mit MILQ heuristisch und nicht systematisch erfolgt und von keiner Person das fachdidaktische Innovationspotential von MILQ (vollständig) erkannt wird.

Die Annahme einer einfachen Wirkkette auf Unterricht bei der Bereitstellung einer evidenzbasierten, fachdidaktisch innovativen materialgestützten Unterrichtskonzeption bestätigt sich in der vorliegenden Studie folglich nicht. Stattdessen scheint die Materialnutzung durch Lehrkräfte einer doppelten

Angebots-Nutzungsstruktur auf der Ebene der Bereitstellung einer Unterrichtskonzeption und auf der Ebene der Implementierung im Unterricht zu unterliegen. Die Lehrkräfte nutzen das Angebot von MILQ in Abhängigkeit von Personenmerkmalen, Materialmerkmalen und externen Randbedingungen und entwickeln daraus wiederum ein Angebot für ihre Schüler*innen.

Die Erkenntnisse der vorliegenden Untersuchung sind zwar aufgrund der hochinferenten Daten, der kleinen Fallzahl sowie des spezifischen Kontexts (Gymnasium, Oberstufe, Quantenphysik, MILQ als Unterrichtskonzeption etc.) als vorläufig und hypothesengenerierend zu bewerten und bedürfen daher der Überprüfung in Folgestudien. Dennoch können aufgrund der getroffenen qualitätssichernden Maßnahmen (insbesondere der empirischen Sättigung) verallgemeinerbare Schlüsse in Bezug auf den Transfer gezogen werden (vgl. Abschnitt 7.3.2). Zudem ist davon auszugehen, dass aufgrund der freiwilligen Teilnahme an der Studie und der somit positiv verzerrten Stichprobe sowie der Videographie von Unterricht die Implementierung eher überschätzt wird (vgl. Durlak & DuPre, 2008). Das bedeutet, dass davon auszugehen ist, dass die Umsetzung von MILQ im Berufsalltag ohne begleitende Studie vermutlich noch geringer ausfallen würde.

Vor dem Hintergrund dieser Erkenntnis wird im Folgenden die aus dem derzeitigen Forschungsstand gefolgerte Ausgangslage neu überdacht, da die ursprüngliche Annahme, einzelne Faktoren als Stellschrauben zur Verbesserung des Transfers im Wirkgefüge der Determinanten der Implementierung isolieren zu können, revidiert werden muss. Es hat vielmehr den Anschein, dass die Schwierigkeiten des Transfers kein alleiniges Problem der Darreichungsform darstellen, sondern auf einer wesentlich grundlegenden Ebene anzusiedeln sind. Bereits im Theorieteil wurde darauf verwiesen, dass eine Diskrepanz zwischen den Erwartungen von Materialentwickler*innen und Lehrkräften an Materialien und deren Umsetzung besteht. Das Ausmaß solcher Problematiken ließ sich allerdings aus dem bisherigen Forschungsstand nicht einschätzen. Das ist vermutlich nicht zuletzt dem Umstand geschuldet, dass bislang nur wenig Implementationsstudien aus Deutschland vorliegend und Lehrkräfte in Deutschland in Bezug auf die Materialnutzung und Handlungsentscheidungen im Vergleich zu anderen Ländern wesentlich freier agieren können, sodass Unterschiede im Materialnutzungsverhalten im Sinne einer weniger engen Orientierung an Materialien zu erwarten sind (vgl. Westbury, Hopmann & Riquarts, 2015).

Die Fragestellung der vorliegenden Untersuchung, unter welchen Bedingungsfaktoren sich das Wirksamkeitspotential fachdidaktisch innovativer Unterrichtskonzeptionen gut im schulischen Unterricht entfaltet, kann auf der Basis der gewonnenen Erkenntnisse eigentlich nicht zufriedenstellend beantwortet werden. Nach dem jetzigen Kenntnisstand könnte eine Untersuchung dieser Fragestellung allerdings auch unter anderen Vorannahmen und

einer anderen Rahmung stattfinden, was im nachfolgenden Kapitel näher ausgeführt wird und in konkreten Implikationen für zukünftige Forschungsprojekte mündet. Insofern können die nachfolgenden Ausführungen als die Hauptidee dieser Arbeit gewertet werden.

10. Fazit

Was folgt nun aus den gewonnenen Erkenntnissen für die weitere Forschung zum Transfer fachdidaktischer Innovation und für die Entwicklung innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen? In Anbetracht der ernüchternden Bilanz, dass es bei keiner der teilnehmenden Lehrkräfte zu einer tiefgreifenden Umsetzung von MILQ im Unterricht kommt, wird im Folgenden analysiert, woran der Transfer fachdidaktischer Innovation durch die Bereitstellung einer materialgestützten Unterrichtskonzeption scheitert. Die beobachtete heuristische Auseinandersetzung mit MILQ bildet den Ausgangspunkt der Analyse, da sie als Ursache der Transferhinderung identifiziert wird. Zur Klärung der Frage, weshalb sich alle teilnehmenden Lehrkräfte lediglich heuristisch mit MILQ auseinandersetzen, lassen sich die folgenden Hypothesen und Implikationen ableiten, die im weiteren Verlauf näher ausgeführt werden:

- Lehrkräfte nehmen keine Ist-Soll-Abweichung im konzeptuellen Verständnis zur Quantenphysik ihrer Schüler*innen wahr, welche jedoch die Ausgangsmotivation von MILQ darstellt.
- Die Materialnutzung durch Lehrkräfte unterliegt konstitutiven Antinomien, die per se nicht aufhebbar sind und daher für die Gestaltung empirisch fundierter, fachdidaktisch innovativer Unterrichtskonzeptionen eines reflektierten Aushandlungsprozesses bedürfen.
- Materialentwickler*innen hegen teilweise wenig reflektierte Wirkannahmen in Bezug auf die Implementierung fachdidaktisch innovativer Unterrichtskonzeptionen, weshalb vielfach bei der Entwicklung solcher Konzeptionen die Perspektive von Lehrkräften vernachlässigt wird.
- Aus den aufgestellten Hypothesen ergeben sich weiterführenden Fragen und Implikationen für zukünftige Forschungsprojekte.

10.1. Fehlende Ist-Soll-Abweichung

Die empirisch belegte Ist-Soll-Abweichung im Konzeptverständnis der Quantenphysik von Schüler*innen bildet den Ausgangspunkt der Entwicklung von

MILQ (vgl. Abschnitt 5.2.2). Diese Abweichung wird jedoch von den teilnehmenden Lehrkräften nicht wahrgenommen bzw. die Beobachtungen sprechen dagegen, dass die Lehrkräfte bereits alternative Konzepte zur Lösung des Problems verwenden. Trotz der Betonung von Deutungsfragen vieler Lehrkräfte scheint bei einem Ist-Soll-Abgleich vielmehr das Lösen mathematischer Aufgaben als Kriterium herangezogen zu werden. So entsteht bei den teilnehmenden Lehrkräften kein tiefgreifendes Bewusstsein in Bezug auf die didaktische Strukturierung einer Unterrichtsreihe zur Quantenphysik. Gründe für die fehlende Wahrnehmung liegen vermutlich hauptsächlich in (a) einer mangelnden volitionalen Orientierung zur (intensiven) *Auseinandersetzung* mit MILQ und/oder (b) fehlenden kognitiven Ressourcen zum (tiefgreifenden) *Verständnis* der Innovation von MILQ begründet (vgl. Stender, 2014).

Beide Faktoren repräsentieren ein ganzes Set aus verschiedenen Bedingungsfaktoren. Die motivationale Orientierung (a) wird durch das Autonomiebestreben der Lehrperson, die Berufserfahrung bzw. den Festigungsgrad der Berufsidentität, eine geringe Wertschätzung evidenzbasierter Praxis sowie externe Rahmenbedingungen beeinflusst und hängt zudem eng mit den kognitiven Ressourcen zum Verständnis (b) zusammen (vgl. Vollstädt et al., 1999; Gregoire, 2003; Gräsel & Parchmann, 2004; Rochnia & Trempler, 2019; Hinzke, Gesang & Besa, 2020). Letztere werden wiederum durch einen geringen fachdidaktischen Fokus der Lehrkraft, mangelndes fachdidaktisches Wissen, ein geringes fachliches Konzeptverständnis der Quantenphysik sowie ungünstige Vorstellungen zum Lehren und Lernen bedingt (vgl. Müller & Wiesner, 2002; Gregoire, 2003; Riegler, 2014).

Ohne eine wahrgenommene Ist-Soll-Abweichung besteht für Lehrkräfte kein Anlass ihre Unterrichtspraxis tiefgehend zu ändern und sich dazu mit einer fachdidaktisch innovativen Unterrichtskonzeption auseinanderzusetzen (vgl. Gregoire, 2003; Duit & Treagust, 2003). Dabei spielt die Zufriedenheit als affektive Komponente ebenfalls eine zentrale Rolle beim *conceptual change*:

„Research on positive moods has found that good moods are more likely to result in shallow or heuristic processing rather than systematic processing. One explanation for this finding is that positive moods may decrease cognitive capacity for processing messages because the mood is treated as information that the message is nonproblematic (Mackie and Worth, 1991). Others have suggested that positive moods may make one less motivated to pay close attention to an unappealing message for fear of ruining one’s mood (for a review, see Schwarz, Bless, and Bohner, 1991)” (Gregoire, 2003, 166).

Obschon personenbezogene Merkmale als Erklärung für die ausbleibende Ist-Soll-Abweichung herangezogen werden, indizieren die Ergebnisse, dass diese

durch tieferliegende Mechanismen im Gesamtzusammenhang von Lehrkräften in Schule systematisch verursacht werden, weshalb trotz großer individueller Unterschiede dennoch ein sehr ähnliches grundlegendes Verhalten bei den teilnehmenden Lehrkräften beobachtet wird. Daher wird die Problematik der fehlenden Ist-Soll-Abweichung im Folgenden auf einer Meta-Ebene analysiert. Es wird deutlich, dass die Ausgangsvoraussetzungen und die Perspektive von Lehrkräften zu wenig Berücksichtigung in der Transferforschung finden, was die gegenüber Lehrkräften vorgebrachte Kritik relativiert.

10.2. Konstitutive Antinomien der Materialnutzung durch Lehrkräfte

Die festgestellten Hürden im Transfer fachdidaktischer Innovation in Schule können zum Teil auf Spannungsfelder grundsätzlicher Art zurückgeführt werden, die für das professionelle Handeln von Lehrkräften nicht aufhebbar sind und eines reflexiven Aushandlungsprozesses für einen produktiven Umgang im Sinne eines gelingenden Transfers bedürfen. Hierzu werden die von Helsper 2004 formulierten konstitutiven Antinomien pädagogischen Handelns von der Beziehung zwischen Lehrkräften und Schüler*innen auf die Beziehung von Lehrenden und Lernenden im Allgemeinen erweitert und als Analysewerkzeug sowie Strukturierungshilfe verwendet.

Lehrkräfte stehen gemäß der *Begründungsantinomie* sowohl unter einem großen Entscheidungsdruck als auch unter dem Anspruch einer Begründungsverpflichtung ihres professionellen Handelns (Helsper, 2004). Eine Legitimierung getroffener Entscheidungen ist beim Handeln unter Druck jedoch nur eingeschränkt möglich (vgl. Wahl, 1991). Das erklärt das teilweise wenig reflektierte sowie extrem zeiteffiziente Handeln einiger teilnehmender Lehrkräfte. Es liegen Hinweise vor, dass die teilnehmenden Lehrkräfte im Berufsalltag dauerhaft unter Druck handeln (also bspw. auch während der Reihenplanung) – wenn auch in unterschiedlicher Ausprägung. Daher setzen sich nur wenige Lehrkräfte detailliert und ganzheitlich mit der bereitgestellten Unterrichtskonzeption MILQ auseinander. Überdies führt eine evidenzbasierte, fachdidaktisch innovative Unterrichtskonzeption bei Lehrkräften zwangsläufig ein Legitimationsdilemma zwischen empirischer Evidenz und den Lehrplanvorgaben herbei, da eine fachdidaktische Innovation per definitionem vom herkömmlichen Lernweg abweicht.

Die Begründungsantinomie wird darüber hinaus durch die *Praxisantinomie* verstärkt, da theoretische Wissensbestände „nicht einfach um- oder übersetzbar [sind] in Praxis“ (Helsper, 2004, 72). Darin liegt höchstwahrscheinlich zum Teil die fehlende Wertschätzung empirischer Wirksamkeitsbelege oder sogar eine wissenschaftsskeptische Haltung einiger teilnehmender

Lehrkräfte begründet.¹⁰⁹ Der Grundgedanke der Bereitstellung ausgearbeiteter materialgestützter Unterrichtskonzeptionen ist zwar, die Diskrepanz zwischen Theorie und Praxis durch eine unterrichtsnahe Ausarbeitung zu verringern, dennoch müssen Lehrkräfte die konkrete Umsetzung und die Adaption auf die Lerngruppe selbst leisten. Dieser Umstand fördert die Wahrnehmung der Lehrkräfte in ihrer Rolle als Expert*in, was wiederum die Bevorzugung eines „eigenen Stils“ begünstigt. Die Rolle der Lehrkraft wird im weiteren Verlauf erneut aufgegriffen und vertieft diskutiert.

Weiterhin hängt die Praxisantinomie eng mit der *Subsumptionsantinomie* zusammen, die besagt, dass das professionelle Handeln von Lehrkräften sowohl der Rekonstruktion als auch Subsumtion bedarf (Helsper, 2004). Der universelle Charakter wissenschaftlicher Erkenntnisse wird demzufolge nicht immer dem Einzelfall gerecht. Lehrkräfte denken in Bezug auf das Unterrichten wiederum weniger auf einer globalen Ebene und konzentrieren sich primär auf Einzelfälle (vgl. Cuban, 2013; Hinzke, Gesang & Besa, 2020). In der vorliegenden Untersuchung äußert sich letzteres bei der Vorstellung zur Materialnutzung, dass der Einsatz von Materialien stets eine Adaption auf die Lerngruppe erfordert und daher die Übernahme eines gesamten Konzepts abgelehnt wird. Diese beiden unterschiedlichen Erwartungshaltungen sind auch als Allgemeinheits-Konkretheits-Antinomie bekannt (Patry, 2014). In diesem Zusammenhang ist es bemerkenswert, dass die von den teilnehmenden Lehrkräften geforderte Adaptivität von Materialien dem bei ihnen beobachteten routinierten Vorgehen zu widersprechen scheint.

Infolge der drei vorgestellten Antinomien entwickeln Lehrkräfte implizite Handlungsskripte, sodass in konkreten Situationen ohne langes Nachdenken Entscheidungen getroffen werden können. „Obwohl professionelles Handeln der gesicherten Routinen bedarf, erfordert es zugleich eine bewusste Haltung der Skepsis gegenüber jeder Routine“ (Helsper, 2004, 72). Letzteres scheint den Erkenntnissen der vorliegenden Arbeit zufolge bei den teilnehmenden Lehrkräften wenig ausgeprägt zu sein, weshalb vielfach eine geringe Bereitschaft bei den Lehrkräften festgestellt wird, die eigene Unterrichtspraxis *tiefgehend* zu überarbeiten.

Bei den vorgestellten Antinomien vertreten Materialentwickler*innen und Lehrkräfte teilweise unterschiedliche Positionen, weshalb eine Diskrepanz zwischen den normativen Erwartungen und den Interessen von Materialentwickler*innen an den Umgang mit materialgestützten Unterrichtskonzeptionen und den Erwartungen von Lehrkräften an solche Materialien herrscht (vgl. Cuban, 2013; Kim & Remillard, 2020a). Einerseits ermöglicht nur eine intensive und systematische Auseinandersetzung ein tiefgehendes Verständ-

¹⁰⁹Neben den Überzeugungen der Lehrperson sind für die Beurteilung der Qualität empirisch fundierter Materialien weiterhin die Kompetenzen in Bezug auf evidenzbasiertes Argumentieren bedeutsam (Trempler et al., 2015; Gräsel, 2019).

nis des zugrundeliegenden Konzepts sowie dessen Umsetzung. Andererseits widerspricht das den Erwartungen von Lehrkräften, Materialien ohne großen Aufwand direkt im Unterricht einsetzen zu können.

Diese Diskrepanz greift die *Symmetrieantinomie* auf, welche die asymmetrische Beziehung zwischen Forschenden und Lehrkräften in Bezug auf den Transfer einer empirisch fundierten, fachdidaktischen Innovation beschreibt (vgl. Helsper, 2004). Da Lehrkräfte diesbezüglich die Rolle von Lernenden einnehmen, sind Forschende Lehrkräften in Bezug auf die Innovation aufgrund ihrer Wissensbestände und ihrer Ressourcen überlegen – es bedarf jedoch symmetrischer Verhältnisse, um Problemlösungen zu entwickeln.¹¹⁰ In der Regel verfolgen Materialentwickler*innen jedoch einen Top-down-Ansatz bei der Bereitstellung fachdidaktisch innovativer Unterrichtskonzeptionen, da von einer umfassenden Umsetzung des gesamten Konzepts ausgegangen wird. Das gilt auch für MILQ. Die teilnehmenden Lehrkräfte erkennen jedoch das fachdidaktische Innovationspotential von MILQ nicht. Das führt entweder dazu, dass kaum etwas aus MILQ implementiert wird, oder, dass trotz einer hohen Motivation der Umsetzung das Konzept nur oberflächlich umgesetzt wird (vgl. Boesen et al., 2014).

Mit dieser Problematik eng verwoben ist ebenfalls die *Antinomie zwischen Heteronomie und Autonomie* (Helsper, 2004). Demnach sollten materialgestützte Unterrichtskonzeptionen Lehrkräften zugleich Anleitung und Entscheidungsspielräume bieten. Diese widersprüchlichen Forderungen können in der Tat in der vorliegenden Untersuchung innerhalb der Stichprobe und teilweise sogar für einzelne Personen festgestellt werden (vgl. Kahlert, Hedke & Schwier, 2000). Ein hohes Autonomiebestreben führt bei mehreren Personen von vorneherein zum Ausschluss einer engen Orientierung an MILQ. Demgegenüber werden aber auch mehr konkretere Unterrichtsvorschläge von MILQ gefordert.

Letzteres ließe sich zwar niederschwellig für MILQ realisieren, um Lehrkräften mehr Anleitung und Entlastung zu bieten. Das würde allerdings die Frage aufwerfen, inwieweit eine fachdidaktische Innovation ohne tieferes Verständnis der Lehrperson im Unterricht umgesetzt werden kann. Zudem fühlen sich Lehrkräfte bei zu engen Vorgaben schnell bevormundet. Ein tieferes Verständnis der Innovation erfordert wiederum eine zeitintensive Auseinandersetzung mit dem Material, was jedoch die Lehrperson zugleich zu einem autonomen Umgang mit der Innovation befähigen und zudem die Akzep-

¹¹⁰Offenkundig ist die Übertragbarkeit dieser Antinomie von der Beziehung zwischen Lehrkräften und Schüler*innen auf die Beziehung zwischen Forschenden und Lehrkräften nur eingeschränkt möglich, da Forschende und Lehrkräfte in unterschiedlichen Tätigkeitsfeldern arbeiten, aus denen nicht zwangsläufig eine hierarchische Rangfolge resultiert. Die Überlegenheit von Forschenden ist daher aus einer Implementationsperspektive heraus zu verstehen.

tanz der Innovation erhöhen würde (vgl. Abschnitt 3.3.3). Aufgrund dieser gegensätzlichen Erwartungen ist es fraglich, inwieweit eine Überarbeitung von MILQ diesbezüglich zu einer erhöhten Implementierung führen würde.

Die Frage ist, welche Rolle Lehrkräfte im Bildungssystem bekleiden sollen. Sollen Lehrkräfte als ausführende Instanz systemische Vorgaben umsetzen oder als Expert*innen Interpretationsspielräume in Bezug auf die Umsetzung von Curricula eingeräumt bekommen (vgl. Remillard, 2005)? Letzteres ist derzeit in Deutschland der Fall (vgl. Westbury, Hopmann & Riquarts, 2015) und erscheint unter dem Ideal eines adaptiven und interaktiven Unterrichts geschehens sinnstiftend (vgl. Unterkapitel 2.1). Dieser Ansatz ist jedoch nur fruchtbar, wenn Lehrkräfte über die dazu erforderlichen kognitiven und kontextuellen Ressourcen verfügen, was in Anbetracht der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zumindest infrage gestellt werden muss. Eine vermehrte Verankerung fachdidaktischer Innovationen in Kernlehrpläne würde hingegen den Verbindlichkeitsgrad der Umsetzung erhöhen, aber vermutlich zugleich aufgrund der Top-down-Transferstrategie die Akzeptanz der Lehrkräfte reduzieren (vgl. Abschnitt 3.3.3).

Die Antinomie zwischen Heteronomie und Autonomie bezüglich der Materialnutzung ist weiterhin so tief verwurzelt, da die Rezeption von Lernangeboten für eine Unterstützung der kognitiven Ressourcen der Lehrkraft zugleich durch die kognitiven Ressourcen der Lehrkraft beeinflusst wird (vgl. Remillard, 2005). Insbesondere für das Selbststudium fachdidaktisch innovativer Unterrichtskonzeptionen bedeutet dies, dass gerade Lehrkräfte mit geringen Vorkenntnissen das fachdidaktische Innovationspotential einer Konzeption eher selten erkennen, was unter einer Perspektive der professionellen Weiterbildung ungünstig ist.

Vor diesem Hintergrund wird abschließend ebenfalls auf die von Helsper (2004) postulierte *Differenzierungsantinomie* hingewiesen. Auf die Materialnutzung übertragen bedeutet das, dass materialgestützte Unterrichtskonzeptionen einen einheitlichen Lehransatz für Lehrkräfte zur Verfügung stellen, der jedoch für Lehrkräfte mit unterschiedlichen Ausgangsvoraussetzung anwendbar sein soll (vgl. Brown, 2012).

Was kann aus den festgestellten Spannungsfelder der Materialnutzung nun für MILQ abgeleitet werden? Obleich die Fallanalysen suggerieren, dass eine Unterteilung von MILQ in ein Schulbuch und Begleitmaterialien für Lehrkräfte in Bezug auf die Transparenz, Praktikabilität und Unterrichtsnahe zu begrüßen wäre, wird aus den vorgestellten Antinomien deutlich, dass nicht ohne Weiteres ein eindeutiges Optimierungspotential von MILQ abgeleitet werden kann. Die in Unterkapitel 8.6 postulierte doppelte Angebots-Nutzungsstruktur des Transfers fachdidaktischer Innovation indiziert vielmehr eine wechselseitige Abhängigkeit der Materialentwicklung und Materialnutzung – für eine produktive Verbesserung des Transfers ist

folglich im Sinne einer Hol- und Bringschuld eine Weiterentwicklung des Angebots und der Nutzung erforderlich. Diese Erkenntnisse sind auf die Implementierung anderer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen übertragbar. Implikationen für einen produktiven Umgang mit den festgestellten Spannungsfeldern folgen im weiteren Verlauf.

10.3. Stärkerer Einbezug der Perspektive von Lehrkräften

Daher werden nun im Folgenden in einem ersten Schritt Schwächen der Transferperspektive der fachdidaktischen Forschung aufgezeigt und in einem zweiten Schritt die Perspektive von Lehrkräften eingenommen. Einschätzungen von fachdidaktischen Forscher*innen wie Weber, der in seiner Dissertation MILQ als „lehrerorientiert und curriculumsnah“ (Weber, 2018, 19) betrachtet, können auf der Basis der Erkenntnisse der vorliegenden Untersuchung nicht bestätigt werden und wirken praxisfern. Eine geringe Beachtung des Implementationsprozesses und der Erwartungen von Lehrkräften unter realitätsnahen Bedingungen zeigen weiterhin die folgenden Zitate von Bildungsforschenden:

- „Abschließend konnten wir nachweisen, dass es möglich ist, allein durch die Distribution von Unterrichtsmaterial, in dem der themenbezogene fachdidaktische Forschungsstand kondensiert verarbeitet ist, auch ohne eingehende Schulung von Lehrkräften Verbesserungen von Unterrichtswirkungen zu erzielen“ (Wilhelm & Hopf, 2014, 41).
- „Das Schulbuch verhilft didaktischen Innovationen zum Durchbruch in der Praxis, nicht zuletzt auch durch die beigelegten Lehrerhandbücher, Kopiervorlagen und Arbeitshefte/-blätter“ (Wiater, 2003, 219).

Neben den Implementationserwartungen einzelner Materialentwickler*innen ist auch die Transferperspektive der fachdidaktischen Lehr-Lern-Forschung als Ganzes als zu wenig multidimensional zu bewerten. Ein zentraler Kritikpunkt an dieser Perspektive ist die Konzentration von Materialentwickler*innen auf typischerweise *eine* fachdidaktische Innovation bei der Entwicklung einer materialgestützten Unterrichtskonzeption. Der Schwerpunkt der Wirksamkeitsevaluation liegt dementsprechend auf dem Kompetenzzuwachs der Schüler*innen in Bezug auf die fokussierte Innovation (z.B. qualitatives Konzeptverständnis). Andere Aspekte (z.B. Interesse) werden hingegen nicht oder nur wenig berücksichtigt. Was aus methodologischer Sicht sauberes Arbeiten und eine kontrollierte Variablenvariation bei der Wirksamkeitsüberprüfung der Innovation darstellen, wirkt aus unterrichtspraktischer Perspektive fragmentarisch ohne eine ganzheitliche Sicht auf Unterricht. Es

besteht die Gefahr einer „doppelten Normativität der Theorie“ (Herfter et al., 2019, 253), also dass Theorien sowohl den Blick von Forschenden auf das Unterrichtsgeschehen lenken als auch als wertbezogene Maßstäbe der Forschenden fungieren. Abweichungen in der Einschätzung oder im Handeln von Lehrkräften sind aber keinesfalls per se als weniger relevant und fruchtbar zu bewerten. Hinzu kommt, dass aus normativer Sicht immer höhere Ansprüche an Lehrkräfte gestellt werden können, es aber hinterfragt werden sollte, inwieweit solche Forderungen gerechtfertigt (und realistisch umsetzbar) oder utopisch sind.

Aus den genannten Gründen erscheint es ratsam, dass Forschende ihre eigene Perspektive (vermehrt) reflektieren und die Perspektive von Lehrkräften in ihre Überlegungen (stärker) einbeziehen. Der vielfach praktizierte Top-down-Ansatz bei der Entwicklung fachdidaktisch innovativer Unterrichtskonzeptionen sollte überdacht werden, um dem Anspruch realitätsnaher und praktikabler Materialien gerecht zu werden. Daher wird nun im Folgenden die Perspektive von Lehrkräften bezüglich der Materialnutzung eingenommen. Die Ausführungen gehen jedoch über die Befunde der vorliegenden Studie hinaus und sind daher hypothetischer Art.

Es ist zu vermuten, dass Lehrkräfte ein anderes Verständnis von gutem Lehrkräfte-handeln haben als Forschende. Denn die Unterrichtsqualitätsforschung bezieht sich in der Regel ausschließlich auf das Unterrichtsgeschehen und nicht auf das Alltagsgeschäft von Lehrkräften, welches über den Unterricht hinaus Aspekte wie die Arbeitsbelastung der Lehrkraft, die Freude am Beruf, die Wertschätzung von außen, Vereinbarkeit von Beruf und Privatleben oder Gesundheit umfasst. Daher legen Lehrkräfte bei der Unterrichtsgestaltung neben der Berücksichtigung ihrer Schüler*innen auch viel Wert auf ihre eigenen Interessen. Darin spiegeln sich zum Teil die von Wahl (1991) sogenannten subjektiven Theorien kurzer Reichweite wider, die beim Handeln unter Druck handlungsleitend sind und die „realen“ Zielvorstellungen von Lehrkräften transportieren.

Bei der Implementierung fachdidaktisch innovativer Unterrichtskonzeptionen bildet insbesondere der Prozess der Unterrichtsplanung die Basis für einen gelingenden Transfer, da dort die Auseinandersetzung der Lehrkraft mit der Unterrichtskonzeption stattfindet. Daher erscheint es aus der Perspektive von Lehrkräften unzureichend, bei der Materialentwicklung die Unterrichtsqualität als alleinigen normativen Maßstab anzulegen. Es sollten vielmehr auch Aspekte wie das Interesse und die Motivation der Lehrkraft, die Vorbereitung auf das Abitur bzw. die Unterstützung von Leistungsabfragen, eine Reduktion der Arbeitsbelastung (auch in der Unterrichtsvorbereitung/Einarbeitungszeit) und eine möglichst große Unterrichtsnähe zumindest teilweise Berücksichtigung bei der Entwicklung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen finden. Zusätzlich kann es durch häufige Reformen

der Bildungspolitik zu Frustration und Widerständen seitens der Lehrkräfte kommen, da es für sie kaum möglich ist zu verfolgen, inwiefern ihre Anstrengungen Erfolg hatten, bevor eine neue Reform die alte ablöst (vgl. Staub, 2001). Daher erscheint es angemessen, Lehrkräfte nicht mit innovativen Vorschlägen für den schulischen Unterricht zu überfrachten, sondern sich gezielt auf einige wenige gut ausgearbeitete und in umfangreichen Erprobungsstudien erfolgreich evaluierte Unterrichtskonzeptionen zu konzentrieren und die Implementierung dieser hinreichend gut zu unterstützen.

Die im Unterkapitel zuvor vorgestellten Antinomien sind ferner als konstitutiver Bestandteil der Materialnutzung anzusehen und können nicht Lehrkräften als Defizit ihrer Professionalität zum Vorwurf gemacht werden. Für einen reflexiven Umgang mit diesen Antinomien sollte vielmehr eine produktive Zusammenarbeit von Lehrkräften und Materialentwickler*innen angestrebt und im Sinne einer didaktischen Rekonstruktion für Lerngelegenheiten von Lehrkräften nach van Dijk und Kattmann (2007) realisiert werden. Vorschläge zur methodischen Umsetzung werden im nachfolgenden Abschnitt diskutiert. Um nicht gegeneinander zu arbeiten, erscheint weiterhin eine Hervorhebung des gemeinsamen Ziels von Lehrkräften und Materialentwickler*innen, Schüler*innen im Unterricht unter den gegebenen Umständen bestmöglich zu fördern, zielführend.

10.4. Implikationen

Abschließend werden Implikationen und Forschungsdesiderate aus der vorliegenden Arbeit für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsprojekte abgeleitet. Hierbei wird zuerst (a) auf die Materialentwicklung, dann (b) auf alternative Transferstrategien und im Anschluss (c) auf die Implementationsforschung im Allgemeinen eingegangen.

Trotz der festgestellten Schwierigkeiten birgt die Bereitstellung fachdidaktisch innovativer, materialgestützter Unterrichtskonzeptionen Potential für eine Verbesserung schulischen Unterrichts. Denn Lehrkräfte greifen in der Unterrichtsplanung auf viele Materialien zurück und orientieren sich teilweise eng daran (vgl. Abschnitt 3.3.2 & 3.3.3 sowie Unterkapitel 8.2), was eine günstige Ausgangsvoraussetzung für den Transfer darstellt. Um das Potential des Selbststudiums besser ausschöpfen zu können, sollte zukünftig vermehrt die Perspektive von Lehrkräften in die *Materialentwicklung* einfließen (a). Eine besondere Herausforderung stellt der Umgang mit den identifizierten Spannungsfeldern der Materialnutzung dar. Allerdings existieren bereits viele theoretisch fundierte (seltener empirisch fundierte) Vorschläge dazu (vgl. Abschnitt 3.3.4):

- Transparente Zieldarstellung

- Begründungen von Design-Entscheidungen
- Alternative Vorschläge und/oder Kennzeichnung von Kernelementen für eine flexible, aber zugleich zielführende Handhabung
- Fallvignetten für mehr Praxisnähe

Diese Vorschläge müssen allerdings in ihrer Umsetzung noch näher untersucht werden, um deren Auswirkungen zu evaluieren und konkrete Operationalisierungen abzuleiten. Auch wenn die vorliegende Studie zeigt, dass eine Konzentration auf die Gestaltung der Materialien nicht ausreicht, sollte der Implementationsprozess für verschiedene Materialmerkmale unter Berücksichtigung der identifizierten Spannungsfelder untersucht werden, um das Angebot für Lehrkräfte zu optimieren.

In Abschnitt 3.3.5 wurde bereits herausgearbeitet, dass die bisherige Forschung zu dem Thema wenig systematisch ist, größtenteils auf Studien mit geringen Stichprobenumfängen und explorativem Ansatz beruht, teilweise wenig differenzierte Darstellungen und Materialanalysen der Unterrichtskonzeptionen oder sogar fehlende Wirksamkeitsevaluationen aufweisen, sodass bislang keine direkten Schlussfolgerungen von der Materialgestaltung, der Materialzusammensetzung und dem Verbindlichkeitsgrad der Umsetzung auf die Implementierung möglich sind.

Überdies sollten ausgehend von der in der vorliegenden Studie gewonnenen Perspektive auf Materialnutzung Bedingungen, unter denen sich das Wirkpotential fachdidaktisch innovativer Unterrichtskonzeptionen möglichst gut entfaltet, identifiziert und genauer charakterisiert sowie neben erwünschten Wirkungen auch unerwünschte Nebenwirkungen näher analysiert werden (vgl. Gräsel, 2019). In diesem Zusammenhang empfiehlt es sich aufgrund des festgestellten modularen Materialnutzungsverhaltens von Lehrkräften zu klären, welcher Grad der Implementierung einer evidenzbasierten, fachdidaktisch innovativen Unterrichtskonzeption für eine wirksame Umsetzung (im Vergleich zum herkömmlichen Weg) erforderlich ist. Weiterhin sollte, basierend auf den Erkenntnissen der vorliegenden Studie, untersucht werden, wie verschiedene Materialnutzungstypen von Lehrkräften bestmöglich unterstützt werden können und unter welchen Bedingungen diese bereit wären, sich mit neuen Unterrichtskonzeptionen intensiv und systematisch auseinanderzusetzen. Dabei muss bedacht werden, dass Lehrkräfte typischerweise bei der Unterrichtsplanung die Wahl zwischen verschiedenen Materialien haben und begründet dazwischen abwägen, sodass nicht davon auszugehen ist, dass sie sich ausschließlich an einer neuen Unterrichtskonzeption orientieren. Vor diesem Hintergrund sollten weiterhin die Anwendungsmöglichkeiten digitaler Tools für den Einbezug von Lehrkräften bei der Material(weiter)entwicklung

(bspw. Kommentarfunktion) und deren Auswirkungen auf die Akzeptanz solcher Materialien von Lehrkräften erforscht werden.

Im Folgenden werden *methodische Vorschläge* für die Umsetzung der vorgeschlagenen Forschungsagenda diskutiert. Es sollten die verschiedenen Komponenten des postulierten doppelten Angebots-Nutzungsmodells näher beleuchtet werden. Zur Absicherung der gefundenen Ergebnisse in anderen Kontexten und zur weiterführenden Analyse von Bedingungen für eine Verbesserung des Transfers fachdidaktischer Innovation hat sich das Forschungsdesign der vorliegenden Studie bewährt, da durch den Multi-Methods-Ansatz der Implementationsprozess untersucht wird und durch das qualitative Design die aus den Antinomien resultierende Komplexität des Forschungsgegenstandes erfasst werden kann.

Zum besseren Verständnis des Implementationsprozesses könnten Vergleiche der Nutzung unterschiedlich aufbereiteter Materialien zur gleichen fachdidaktischen Innovation in einem Vergleichsgruppen-Design durchgeführt werden, um den Einfluss von Materialmerkmalen auf die Implementierung der Innovation näher zu charakterisieren. Die Materialien sollten dazu im Umgang mit den identifizierten Spannungsfeldern, wie etwa Anleitung und Offenheit, variieren.

Ein methodischer Vorschlag für eine stärkere Einbeziehung der Erwartungen von Lehrkräften ist weiterhin die Durchführung gezielter Bedarfsanalysen von Lehrkräften, um die Nutzenerkennung auf der Abnehmerseite zu erhöhen.

Ferner folgt aus der vorliegenden Untersuchung, dass neben einer Evaluation der Förderung des Lernzuwachses der Schüler*innen durch fachdidaktisch innovative Unterrichtskonzeptionen ebenfalls der Implementationsprozess untersucht und bei der Materialentwicklung berücksichtigt werden sollte. Dazu könnte der Implementationsprozess in einem zusätzlichen Design-Prozess eines Design-Based-Research-Materialentwicklungsprojekts begleitet und optimiert werden. Auf diese Weise könnte die Perspektive von Lehrkräften in die Materialentwicklung einfließen und produktiv mit den identifizierten Spannungsfeldern umgegangen werden. Darüber hinaus könnte man so dem festgestellten komplexen Wirkgefüge verschiedener Bedingungsfaktoren der Materialnutzung gerecht werden, da die Design-Based-Research-Forschung nicht darauf abzielt, die Wirkungen ausgewählter einzelner Faktoren zu untersuchen. Die Aktionsforschung bietet diesbezüglich ebenfalls zielführende methodische Ansätze.

Da die vorliegende Untersuchung allerdings demonstriert, dass die alleinige Verfolgung der Transferstrategie des Selbststudiums auf der Basis materialgestützter Unterrichtskonzeptionen wenig Erfolg versprechend ist, sollten auch *andere Transferstrategien* sowie die Kombination verschiedener Strategien näher untersucht werden (b). Dazu zählen Fortbildungen sowie die

Kombination aus Fortbildungen und Begleitmaterialien für Lehrkräfte (z.B. Tobias, 2010; Kleickmann et al., 2016; Kartamihaja et al., 2020). Allerdings zeichnet sich in der Fortbildungsforschung ab, dass ebenfalls teilweise nur wenig der Fortbildungsinhalte im Unterricht implementiert wird und ein *conceptual change* bei Lehrkräften schwer zu erreichen ist (vgl. Unterkapitel 3.2). Eine Veränderung der Überzeugungen der Lehrkräfte gelingt meist nur in aufwändigen Fortbildungsformaten über einen längeren Zeitraum, bspw. mittels Unterrichtsreflexion, kollaborativer Kleingruppenarbeit oder individuellem Coaching (vgl. Unterkapitel 3.2). Insofern kann durch Fortbildungen kein niederschwelliger Transfer auf breiter Basis erreicht werden.

Allgemein sollten daher weitergehend Studien zu *learning progressions* bei der berufsbegleitenden Professionalisierung von Lehrkräften durchgeführt werden, um die komplexen Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Determinanten bei der professionellen Weiterbildung von Lehrkräften besser zu verstehen und darauf aufbauend effektive Unterstützungsmaßnahmen zu entwickeln. In diesem Zusammenhang wäre es weiterhin wichtig zu klären, wie das Materialnutzungsverhalten von Lehrkräften und typische Handlungsmuster entstehen, um in einem möglichst frühen Stadium der Entwicklung Lehrkräfte diesbezüglich zu unterstützen.

Da sich zeigt, dass das Vorgehen von Lehrkräften in Bezug auf die Strukturierung und Gestaltung einer Unterrichtsreihe sehr stabil und im Kern nur an einigen wenigen für Lehrkräfte etablierten Formaten von Unterrichtskonzeptionen wie Schulbüchern orientiert ist, sollte eine Tradierung fachdidaktisch innovativer Ansätze über solche Formate angestrebt werden. Durch eine vermehrte Verankerung bspw. in gängigen Schulbüchern könnten sich auf diese Weise fachdidaktisch innovative Ansätze mit der Zeit zum „herkömmlichen“ Lernweg tradieren und Einzug in die gängige Unterrichtspraxis der Lehrkräfte halten. Das wäre zwar offenkundig ein langwieriger Prozess, aber mit einer potenziell großen Reichweite. MILQ soll bspw. in den Lehrplan von Sachsen-Anhalt und in der Lehrerplattform LEIFIphysik verankert werden.

Daran schließt auch die Forderung an, den Zusammenhang zwischen Unterrichtsplanung und Unterrichtsgeschehen genauer zu untersuchen, da in der Regel davon ausgegangen wird, dass über eine qualitativ hochwertige Unterrichtsplanung auch die Unterrichtsqualität erhöht werden kann. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass diese Annahme bislang noch nicht empirisch bestätigt wurde und insbesondere für die Bestimmung von Zielkriterien eines gelingenden Innovationstransfers zu klären ist.

Der Austausch zwischen theoretischer und praktischer Perspektive auf Schule wird immer Herausforderungen mit sich bringen, weshalb keine einfache Lösung für die Überwindung der Transferproblematik abzusehen ist. Da sich ein Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse auf verschiedenen Handlungsebenen abspielen kann, sollte in der *Implementationsforschung* weiter

erforscht werden, wie der Transfer auf verschiedenen Handlungsebenen verankert werden kann und diese verschiedenen Transferebenen produktiv miteinander verknüpft werden können (c).

„Nachhaltige Unterrichtsentwicklung bedarf der klugen Unterstützung durch das System: Arbeitsbedingungen von Lehrpersonen, Unterstützungssysteme, eine Fortbildungsinfrastruktur sowie ein erweitertes Spektrum an Verfahren und Instrumenten – all dies jenseits von Drohgebärden, Lehrerschelte und Kontrolldruck“ (Reusser, 2009, 306f.).

Mögliche Ansatzpunkte könnten eine Stundenentlastung von Lehrkräften zur Weiterentwicklung der eigenen Unterrichtspraxis (vgl. Eylon & Hofstein, 2015) sowie eine Verankerung fachdidaktischer Innovationen im Lehrplan darstellen. Dazu sollten Kultur vergleichende Untersuchungen angestrebt werden, da Lehrkräfte in unterschiedlichen Bildungssystemen verschiedene Rollen innehaben und damit einhergehend unterschiedlichen Entscheidungsspielräumen unterliegen. So könnte der Zusammenhang zwischen der Rolle der Lehrkraft und der daraus resultierenden Innovationsumsetzung analysiert werden, um wiederum Rückschlüsse auf optimale Bedingungen für einen effektiven Transfer zu schließen. Schlussendlich benötigen die Fachdidaktiken einen Diskurs über Ziele, Formate und Strategien eines gelingenden Innovationstransfers und darin, was eine erfolgreiche Implementierung ausmacht.

Mein Plädoyer ist daher, die Implementationsforschung auszubauen und den Implementationsprozess stärker zu unterstützen, wie dies bspw. im Gesundheitswesen bereits der Fall ist. In der Bildungsforschung liegt der Fokus derzeit vermehrt auf der Entwicklungsforschung. Groß angelegte Forschungsprojekte wie SINUS und SINUS-Transfer (Prenzel, 2008) sowie Chemie im Kontext (Parchmann et al., 2007) können dazu als Vorbild dienen. Die Annahme, dass eine Large-Scale-Implementierung ohne großen Aufwand gelingen kann, erscheint hingegen illusorisch. Für den Transfer fachdidaktischer Innovation in Schule wird es keine einfache Lösung geben, was die Fachdidaktiken nicht davon abhalten sollte, hierzu weitere Forschungsanstrengungen auf sich zu nehmen.

Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

2.1. Modell der Determinanten und Konsequenzen der professionellen Kompetenz von Lehrkräften	14
3.1. Modell für die Wirkung von <i>professional development</i> auf Lehrkräfte und Schüler*innen	29
3.2. Das <i>Cognitive-Affective Model of Conceptual Change</i>	42
3.3. Darstellung der Wirkung materialgestützter Unterrichtskonzeptionen	43
3.4. trukturelle Darstellung des Zusammenspiels von Personenmerkmalen und Materialeigenschaften bei der Gestaltung von Unterricht	44
3.5. Modell der Implementierung fachdidaktisch innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen	45
3.6. Modell zur didaktischen Rekonstruktion der Lehrerbildung	50
5.1. Textausschnitt aus MILQ	93
5.2. Simulation zum Mach-Zehnder-Interferometer	93
5.3. Beispielhafte Darstellung zusätzlicher Elemente von MILQ	101
5.4. Zeitliche Abfolge der Datenerhebung	123
7.1. Chronologischer Ablauf der Entwicklung des Kategoriensystems und der Codierung der Interviews	134
7.2. Ablauf der inhaltlich strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse	140
7.3. Ablauf der evaluativen qualitativen Inhaltsanalyse	141
7.4. Lokale Codierung von Subkategorien in MAXQDA	179
8.1. Screenshot der Funktion <i>Code-Relations-Browser</i> der Software MAXQDA	226
8.2. Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen Planungskriterium	227
8.3. Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings pro Person je Planungskriterium	227

8.4. Anzahl der Personen zu den jeweiligen Vorstellungen zum Lehren und Lernen	233
8.5. Anzahl der Personen zu den jeweiligen Vorgehensweisen in der Unterrichtsplanung	239
8.6. Anzahl der Personen je Ausprägungsgrad der verschiedenen Reflexionsschwerpunkte	243
8.7. Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen Unterrichtsziel zur Quantenphysik	249
8.8. Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen behandelten quantenmechanischen Phänomen	254
8.9. Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen Mathematisierungsgrad	258
8.10. Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings pro Person je Mathematisierungsgrad	258
8.11. Anzahl der Personen mit Aussagen zur jeweiligen Schwierigkeit beim Unterrichten von Quantenphysik	260
8.12. Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings je Schwierigkeit beim Unterrichten von Quantenphysik	261
8.13. Anzahl der Personen mit Aussagen zur jeweiligen Vorstellung zur Materialnutzung	270
8.14. Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen inhaltlichen Materialnutzungskriterium	275
8.15. Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings pro Person je inhaltlichem Materialnutzungskriterium	276
8.16. Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen formal-pragmatischen Materialnutzungskriterium	283
8.17. Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings pro Person je formal-pragmatischem Materialnutzungskriterium	283
8.18. Anzahl der Personen je genutztem Material	289
8.19. Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings pro Person je genutztem Material . .	290
8.20. Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen Grund für das Selbststudium	297
8.21. Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings pro Person je genanntem Grund für das Selbststudium	297
8.22. Relative Nennungshäufigkeit der Kategorie <i>3.5 Gründe für das Selbststudium</i> pro Person	300

8.23. Ausprägungen der fachlichen und pädagogischen Grundpositionen	303
8.24. Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen Kritikpunkt an MILQ	307
8.25. Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings pro Person je Kritikpunkt an MILQ .	308
8.26. Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen gelobten Aspekt von MILQ	317
8.27. Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings pro Person je gelobten Aspekt von MILQ	318
8.28. Positiv bewertete Abbildungen aus MILQ	320
8.29. Anzahl der Personen mit Aussagen zum jeweiligen nicht genutzten Element aus MILQ.	325
8.30. Anzahl der Personen je genutztem Element aus MILQ	327
8.31. Durchschnittliche relative Häufigkeit in Bezug auf die Gesamtzahl aller Codings pro Person je genutztem Element aus MILQ	328
8.32. Die abgeleiteten Handlungsmuster	391
8.33. Charakterisierung des Handlungsmusters <i>aufgeschlossene*r Pragmatiker*in</i>	393
8.34. Charakterisierung des Handlungsmusters <i>Innovationsinteressierte*r</i>	395

Tabellenverzeichnis

5.1. Darstellung der erfassten Informationen je Erhebungsinstrument	85
5.2. Analyse der ausgewählten Unterrichtskonzeptionen hinsichtlich der aufgestellten Auswahlkriterien	90
6.1. Stichprobenbeschreibung der Pilotierung	131
6.2. Stichprobenbeschreibung der Haupterhebung	132
7.1. Überblick über das Kategoriensystem	144
7.2. Verteilung der Subkategorien auf die Hauptkategorien	146
7.3. Übersicht über die Codiereinheit der Kategorien	177
7.4. Gegenüberstellung klassischer und alternativer Gütekriterien	182
7.5. Übersicht über die Werte der prozentualen Übereinstimmung für die Interrater- und Intrarater-Reliabilität	208
7.6. Überblick zur gewählten Variante der qualitativen Inhaltsanalyse	213
8.1. Von den teilnehmenden Lehrkräften benannte Schülervorstellungen (zur Quantenphysik)	268

Literatur

- Ajzen, I. (1991). The Theory of Planned Behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50, 179-211.
- Ajzen, I. & Fishbein, M. (1980). *Understanding Attitudes and Predicting Social Behavior*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Alonzo, A., Berry, A. & Nilsson, P. (2019). Unpacking the Complexity of Science Teachers' PCK in Action: Enacted and Personal PCK. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Hrsg.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (S. 271-286). Singapur: Springer.
- Altrichter, H. & Wiesinger, S. (2004). Der Beitrag der Innovationsforschung im Bildungssystem zum Implementierungsproblem. In G. Reinmann & H. Mandl (Hrsg.), *Psychologie des Wissensmanagements. Perspektiven, Theorien und Methoden* (S. 220-233). Göttingen: Hogrefe.
- American Educational Research Association (2014). *Standards for Educational and Psychological Testing*. Washington: AERA.
- Arias, A., Smith, S., Davis, E., Marino, J.-C. & Palinscar, A. (2017). Justifying Prediction: Connecting Use of Educative Curriculum Materials to Students' Engagement in Science Argumentation. *Journal of Science Teacher Education*, 28(1), 11-35.
- Bader, F. (2014). *Dorn/Bader Physik: Gymnasium Sek II*. Braunschweig: Schroedel.
- Bader, M. (2001). *Vergleichende Untersuchung eines neuen Lehrganges „Einführung in die mechanische Energie und Wärmelehre“*. Verfügbar unter: https://edoc.ub.uni-muenchen.de/191/1/Bader_Martin.pdf [22.05.2020].
- Ball, D. & Cohen, D. (1996). Reform by the Book: What Is – or Might Be – the Role of Curriculum Materials in Teacher Learning and Instructional Reform? *Educational Researcher*, 25(9), 6-8, 14.
- Bandura, A. (1997). *Self-Efficacy: The Exercise of Control*. New York: Freeman.
- Banilower, E. R., Heck, D. J. & Weiss, I. R. (2007). Can Professional Development Make the Vision of the Standards a Reality? The Impact of the National Science Foundation's Local Systemic Change through Teacher Enhancement Initiative. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(3), 375-395.
- Bauer, J., Berthold, K., Hefter, M., Prenzel, M. & Renkl, A. (2017). Wie können Lehrkräfte und ihre Schülerinnen und Schüler lernen, fragile Evidenz zu verstehen und zu nutzen? *Psychologische Rundschau*, 68(3), 188-192.
- Bauer, L. (1995). Zur Adressatenbezogenheit des Schulbuches – Für wen werden diese Schulbücher eigentlich wirklich geschrieben? In R. Olechowski (Hrsg.), *Schulbuchforschung* (S. 228-234). Frankfurt a.M.: Lang.
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U. et al. (Hrsg.) (2001). *PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen: Leske & Budrich.
- Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 469-520.
- Baumert, J., Kunter, M., Blum, W., Brunner, M., Voss, T., Jordan, A. et al. (2010). Teachers' Mathematical Knowledge, Cognitive Activation in the Classroom, and Student Progress. *American Educational Research Journal*, 47(1), 133-180.
- Bayram-Jacobs, D., Henze, I., Evagorou, M., Shwartz, Y., Aschim, E. L., Alcaraz-Dominguez, S. et al. (2019). Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge Development During Enactment of Socioscientific Curriculum Materials. *Journal of Research in Science Teaching*, 56(9), 1207-1233.

- Beerenwinkel, A. & Gräsel, C. (2005). Texte im Chemieunterricht: Ergebnisse einer Befragung von Lehrkräften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 21-39.
- Bergqvist, E. & Bergqvist, T. (2017). The Role of the Formal Written Curriculum in Standards-based Reform. *Journal of Curriculum Studies*, 49(2), 149-168.
- Besand, A. (2016). Design Based Research. Oder auch: Lernmedien als doppelter Forschungsgegenstand der fachdidaktischen Forschung. In A. Petrik (Hrsg.), *Formate fachdidaktischer Forschung in der politischen Bildung* (S. 113-124). Schwalbach: Wochenschau Verlag.
- Beyer, C., Delgado, C., Davis, E. & Krajcik, J. (2009). Investigating Teacher Learning Supports in High School Biology Curricular Programs to Inform the Design of Educative Curriculum Materials. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(9), 977-998.
- Bismack, A., Arias, A., Davis, E. & Palinscar, A. (2015). Examining Student Work for Evidence of Teacher Uptake of Educative Curriculum Materials. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(6), 816-846.
- Blumenfeld, P., Fishman, B. J., Krajcik, J., Marx, R. W. & Soloway, E. (2000). Creating Usable Innovations in Systemic Reform: Scaling up Technology-embedded Project-based Science in Urban Schools. *Educational Psychologist*, 35(3), 149-164.
- BMBF (2017). *Rahmenprogramm empirische Bildungsforschung*. Verfügbar unter: [www.empirische-bildungsforschung-bmbf.de/media/content/Rahmenprogramm%20empirische%20Bildungsforschung%20\(BITV\).pdf](http://www.empirische-bildungsforschung-bmbf.de/media/content/Rahmenprogramm%20empirische%20Bildungsforschung%20(BITV).pdf) [27.06.2019].
- Boesen, J., Helenius, O., Bergqvist, E., Bergqvist, T., Lithner, J., Palm, T. & Palmberg, B. (2014). Developing Mathematical Competence: From the Intended to the Enacted Curriculum. *The Journal of Mathematical Behavior*, 33, 72-87.
- Bohnsack, R. (2010). *Rekonstruktive Sozialforschung: Einführung in qualitative Methoden* (8. Auflage). Opladen: Budrich.
- Bölsterli, K., Scheid, J. & Hoesli, M. (2016). Ist die Schulbuchnutzung & -zufriedenheit der Lehrer stufenabhängig? In C. Maurer (Hrsg.), *Authentizität und Lernen – das Fach in der Fachdidaktik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Berlin 2015* (S. 328-330). Berlin: Humboldt-Universität Berlin.
- Borko, H. (2004). Professional Development and Teacher Learning: Mapping the Terrain. *Educational Researcher*, 33(8), 3-15.
- Borko, H. & Putnam, R. (1995). Expanding a Teachers' Knowledge Base: A Cognitive Psychological Perspective on Professional Development. In T. R. Guskey & M. Huberman (Hrsg.), *Professional Development in Education. New Paradigms and Practices* (S. 35-66). New York: Teachers College Press.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation: Für Human- und Sozialwissenschaftler* (4. Auflage). Heidelberg: Springer.
- Bredthauer, W. (2009). *Impulse Physik* (1. Auflage). Stuttgart: Klett.
- Breuer, J., Vogelsang, C. & Reinhold, P. (2021). *Transfer fachdidaktischer Innovation in die Schulpraxis*. Verfügbar unter: www.gdcp-ev.de/wp-content/tb2021/TB2021_242_Breuer.pdf [17.03.2021].
- Breuer, J. (2020). Quantenmechanik in der Lehramtsausbildung – Vorstellungen und Ziele von Hochschullehrenden. *die hochschullehre*, 6, 159-180.
- Breuer, J., Vogelsang, C. & Reinhold, P. (2020a). Implementation und Nutzung von Unterrichtsmaterialien im schulischen Unterricht. *PhyDid A*, 19(1), 12-22.
- Breuer, J., Vogelsang, C. & Reinhold, P. (2020b). Der Einfluss von Lehrercharakteristika auf die Nutzung von Unterrichtsmaterialien. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen* (S. 463-466). Wien: Universität Wien.

- Breuer, J., Vogelsang, C. & Reinhold, P. (2019). Implementation fachdidaktischer Innovation im Physikunterricht: Ergebnisse einer Pilotstudie. In C. Maurer (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe* (S. 189-192). Kiel: Universität Kiel.
- Breuer, J., Vogelsang, C. & Reinhold, P. (2018a). Implementation fachdidaktischer Innovation am Beispiel des Münchener Unterrichtskonzepts zur Quantenmechanik. In V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Würzburg 2018* (S. 133-139).
- Breuer, J., Vogelsang, C. & Reinhold, P. (2018b). Materialnutzung bei der Planung von Physikunterricht: Ergebnisse einer Interviewstudie. In C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht – normative und empirische Dimensionen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017* (S. 671-674). Regensburg: Universität Regensburg.
- Bromme, R. (1981). *Das Denken von Lehrern bei der Unterrichtsvorbereitung: Eine empirische Untersuchung zu kognitiven Prozessen von Mathematiklehrern*. Weinheim: Beltz.
- Bromme, R. & Hömberg, E. (1981). *Die andere Hälfte des Arbeitstages: Interviews mit Mathematiklehrern über alltägliche Unterrichtsvorbereitung*. Bielefeld: Institut für Didaktik der Universität Bielefeld.
- Bromme, R., Prenzel, M. & Jäger, M. (2014). Empirische Bildungsforschung und evidenzbasierte Bildungspolitik. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 17(S4), 3-54.
- Brown, M. (2012). The Teacher-tool Relationship: Theorizing the Design and Use of Curriculum Materials. In J. Remillard, B. Herbel-Eisenmann & G. Lloyd (Hrsg.), *Mathematics Teachers at Work. Connecting Curriculum Materials and Classroom Instruction* (S. 17-36). New York, London: Routledge.
- Brückmann, M. & Duit, R. (2014). Videobasierte Analyse unterrichtlicher Sachstrukturen. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 189-201). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Burde, J.-P. (2018). *Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells*. Berlin: Logos.
- Burkard, U. (2009). *Quantenphysik in der Schule: Bestandsaufnahme, Perspektiven und Weiterentwicklungsmöglichkeiten durch die Implementierung eines Medienservers*. Berlin: Logos.
- Carlson, J., Daehler, K., Alonzo, A., Barendsen, E., Berry, A., Borowski, A. et al. (2019). The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education. In A. Hume, R. Cooper & A. Borowski (Hrsg.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (S. 77-94). Singapur: Springer.
- Cauet, E., Liepertz, S., Borowski, A. & Fischer, H. E. (2015). Does It Matter What We Measure? Domain-specific Professional Knowledge of Physics Teachers. *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften*, 37(3), 462-479.
- Cervetti, G. N., Kulikowich, J. M. & Bravo, M. A. (2015). The Effects of Educative Curriculum Materials on Teachers' Use of Instructional Strategies for English Language Learners in Science and on Student Learning. *Contemporary Educational Psychology*, 40, 86-98.
- Charalambous, C. & Hill, H. (2012). Teacher Knowledge, Curriculum Materials, and Quality of Instruction: Unpacking a Complex Relationship. *Journal of Curriculum Studies*, 44(4), 443-466.

- Charalambous, C. & Philippou, G. (2010). Teachers' Concerns and Efficacy Beliefs about Implementing a Mathematics Curriculum Reform: Integrating Two Lines of Inquiry. *Educational Studies in Mathematics*, 75(1), 1-21.
- Collopy, R. (2003). Curriculum Materials as a Professional Development Tool: How a Mathematics Textbook Affected Two Teachers' Learning. *The Elementary School Journal*, 103(3), 287-311.
- Cronbach, L. (1980). Validity on Parole: How Can We Go Straight? New Directions for Testing and Measurement: Measuring Achievement Over a Decade. *Proceedings of the 1979 ETS Invitational Conference*, 99-108.
- Cuban, L. (2013). Why so Many Structural Changes in Schools and so Little Reform in Teaching Practice? *Journal of Educational Administration*, 51(2), 109-125.
- Damschroder, L., Aron, D., Keith, R., Kirsh, S., Alexander, J. & Lowery, J. (2009). Fostering Implementation of Health Services Research Findings into Practice: A Consolidated Framework for Advancing Implementation Science. *Implementation Science*, 4, 1-15.
- Dann, H.-D. (1989). Subjektive Theorien als Basis erfolgreichen Handelns von Lehrkräften. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 7(2), 247-254.
- Darling-Hammond, L. (2006). *Powerful Teacher Education: Lessons from Exemplary Programs* (1. Auflage). San Francisco: John Wiley and Sons.
- Darling-Hammond, L., Hyler, M. & Gardner, M. (2017). *Effective Teacher Professional Development*. Palo Alto: Learning Policy Institute.
- Davis, E., Janssen, F. & van Driel, J. (2016). Teachers and Science Curriculum Materials: Where We Are and Where We Need to Go. *Studies in Science Education*, 52(2), 127-160.
- Davis, E. & Krajcik, J. (2005). Designing Educative Curriculum Materials to Promote Teacher Learning. *Educational Researcher*, 34(3), 3-14.
- Davis, E., Palincsar, A. S., Smith, P. S., Arias, A. M. & Kademian, S. M. (2017). Educative Curriculum Materials: Uptake, Impact, and Implications for Research and Design. *Educational Researcher*, 46(6), 293-304.
- Delaney, S. (2012). A Validation Study of the Use of Mathematical Knowledge for Teaching Measures in Ireland. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 44(3), 427-441.
- Demuth, R. (2008). *Möglichkeiten der Förderung des Innovationstransfers im Schulwesen: Eine Interviewstudie zu Chemie im Kontext*. Kiel: IPN.
- Desimone, L. (2002). How Can Comprehensive School Reform Models Be Successfully Implemented? *Review of Educational Research*, 72(3), 433-479.
- Desimone, L. (2009). Improving Impact Studies of Teachers' Professional Development: Toward Better Conceptualizations and Measures. *Educational Researcher*, 38(3), 181-199.
- Deutsche Physikalische Gesellschaft (2006). *Thesen für ein modernes Lehramtsstudium im Fach Physik: Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e. V.* Verfügbar unter: www.dpg-physik.de/static/info/lehramtsstudie_2006.pdf [02.07.2019].
- Deutscher Philologenverband (2020). *Lehrerarbeit im Wandel*. Verfügbar unter: www.dphv.de/uploads/media/Endfassung_Bundescharts_05_003_.pdf [07.07.2020].
- Diehl, B., Erb, R., Heise, H., Kotthaus, U., Lindner, K., Schlichting, H.-J. et al. (2008). *Physik Oberstufe: Gesamtband* (1. Auflage). Berlin: Cornelsen.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer.

- Drake, C., Land, T. & Tyminski, A. (2014). Using Educative Curriculum Materials to Support the Development of Prospective Teachers' Knowledge. *Educational Researcher*, 43(3), 154-162.
- Drake, C. & Sherin, M. G. (2006). Practicing Change: Curriculum Adaptation and Teacher Narrative in the Context of Mathematics Education Reform. *Curriculum Inquiry*, 36(2), 153-187.
- Dresing, T. & Pehl, T. (2015). *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende* (6. Auflage). Marburg: Eigenverlag.
- DuBois, D., Holloway, B., Valentine, J. & Cooper, H. (2002). Effectiveness of Mentoring Programs for Youth: A Meta-Analytic Review. *American Journal of Community Psychology*, 30(2), 157-197.
- Dudenredaktion (2001). *Duden Band 5: Fremdwörterbuch*. Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG.
- Duit, R., Schecker, H., Höttecke, D. & Niedderer, H. (2014). Teaching Physics. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education, Volume II* (S. 599-629). Hoboken: Taylor and Francis.
- Duit, R., Riquarts, K. & Westphal, W. (1976). *Wirkungen eines Curriculum*. Weinheim: Beltz.
- Duit, R. & Treagust, D. F. (2003). Conceptual Change: A Powerful Framework for Improving Science Teaching and Learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688.
- Durlak, J. A. & DuPre, E. P. (2008). Implementation Matters: A Review of Research on the Influence of Implementation on Program Outcomes and the Factors Affecting Implementation. *American Journal of Community Psychology*, 41(3-4), 327-350.
- Einsiedler, W. & Hardy, I. (2010). Kognitive Strukturierung im Unterricht: Einführung und Begriffsklärung. *Unterrichtswissenschaft*, 38(3), 194-209.
- Eisenmann, T. & Even, R. (2012). Similarities and Differences in the Types of Algebraic Activities in Two Classes Taught by the Same Teacher. In J. Remillard, B. Herbel-Eisenmann & G. Lloyd (Hrsg.), *Mathematics Teachers at Work. Connecting Curriculum Materials and Classroom Instruction* (S. 152-170). New York, London: Routledge.
- Eisewicht, P. & Grenz, T. (2018). Die (Un)Möglichkeit allgemeiner Gütekriterien in der Qualitativen Forschung – Replik auf den Diskussionsanstoß zu „Gütekriterien qualitativer Forschung“ von Jörg Strübing, Stefan Hirschauer, Ruth Ayaß, Uwe Krähnke und Thomas Scheffer. *Zeitschrift für Soziologie*, 47(5), 364-373.
- Elster, D. (2007). In welchen Kontexten sind naturwissenschaftliche Inhalte für Jugendliche interessant. *Plus Lucis*, 3, 2-8.
- Enkrott, P., Buschhüter, D., Spoden, C., Fischer, H. E. & Borowski, A. (2020). Entwicklung des fachlichen- und fachdidaktischen Wissens angehender Physiklehrkräfte. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019* (S. 431-434). Wien: Universität Wien.
- Eylon, B.-S. & Hofstein, A. (2015). Curriculum Development. In R. Gunstone (Hrsg.), *Encyclopedia of Science Education*. Dordrecht: Springer.
- Fenstermacher, G. (1994). The Knower and the Known. The Nature of Knowledge in Research on Teaching. *Review of Research in Education*, 20, 3-56.
- Firestone, W. (1993). Alternative Arguments for Generalizing from Data as Applied to Qualitative Research. *Educational Researcher*, 22(4), 16-23.

- Fischler, H. (1992). Anschaulichkeit oder Abstraktion – Grundlagen oder Anwendungen? Kontroverse Ansichten über die Quantenphysik in der Schule. In H. Fischler (Hrsg.), *Quantenphysik in der Schule* (S. 6-21). Kiel: IPN.
- Fischler, H. (2000a). Über den Einfluß von Unterrichtserfahrungen auf die Vorstellungen vom Lehren und Lernen bei Lehrerstudenten der Physik. Teil 1: Stand der Forschung sowie Ziele und Methoden einer Untersuchung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 6, 27-36.
- Fischler, H. (2000b). Über den Einfluß von Unterrichtserfahrungen auf die Vorstellungen vom Lehren und Lernen bei Lehrerstudenten der Physik. Teil 2: Ergebnisse der Untersuchung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 6, 79-95.
- Fischler, H. & Schröder, H.-J. (2003). Fachdidaktisches Coaching für Lehrende in der Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 9, 43-62.
- Fischler, H. (2008). Physikdidaktisches Wissen und Handlungskompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 14, 27-49.
- Fishman, B. J. & Krajcik, J. (2003). What Does It Mean to Create Sustainable Science Curriculum Innovations? A Commentary. *Science Education*, 87(4), 564-573.
- Flick, U. (2014). Gütekriterien qualitativer Sozialforschung. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 411-423). Wiesbaden: Springer.
- Forbes, C. T. (2013). Curriculum-Dependent and Curriculum-Independent Factors in Preservice Elementary Teachers' Adaptation of Science Curriculum Materials for Inquiry-Based Science. *Journal of Science Teacher Education*, 24(1), 179-197.
- Forbes, C. T. & Davis, E. (2007). Beginning Elementary Teachers' Learning through the Use of Science Curriculum Materials: A Longitudinal Study. *National Association for Research in Science Teaching*, 1-23.
- Fraefel, U. (2017). Wo ist das Problem? Kernideen des angloamerikanischen Reflexionsdiskurses bei Dewey und Schön. In C. Berndt, T. Häcker & T. Leonhard (Hrsg.), *Studien zur Professionsforschung und Lehrerbildung. Reflexive Lehrerbildung revisited. Traditionen – Zugänge – Perspektiven* (S. 56-73). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Friebe, C., Kuhlmann, M., Näger, P., Passon, O. & Stöckler, M. (2018). *Philosophie der Quantenphysik* (2. Auflage). Berlin: Springer.
- Friebertshäuser, B. & Langer, A. (2013). Interviewformen und Interviewpraxis. In B. Friebertshäuser, A. Langer & A. Prengel (Hrsg.), *Handbuch qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft* (4. Auflage, S. 437-455). Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Gassmann, C. (2013). *Erlebte Aufgabenschwierigkeit bei der Unterrichtsplanung: Eine qualitativ-inhaltsanalytische Studie zu den Praktikumsphasen der universitären Lehrerbildung*. Wiesbaden: Springer.
- George, A. A., Hall, G. E. & Stiegelbauer, S. (2008). *Measuring Implementation in Schools: The Stages of Concern Questionnaire*. Verfügbar unter: www.researchgate.net/publication/321815597 [05.10.2020].
- Gläser, J. & Laudel, G. (2010). *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen* (4. Auflage). Wiesbaden: VS Verlag.
- Göhner, M. & Krell, M. (2020). Qualitative Inhaltsanalyse in naturwissenschaftsdidaktischer Forschung unter Berücksichtigung von Gütekriterien: Ein Review. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10(1).
- Gräsel, C. (2019). Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis. In C. Donie, F. Foerster & M. Obermayr (Hrsg.), *Grundschulpädagogik zwischen Wissenschaft und Transfer* (S. 2-11). Wiesbaden: Springer.

- Gräsel, C. & Parchmann, I. (2004). Implementationsforschung – oder: der steinige Weg, Unterricht zu verändern. *Unterrichtswissenschaft*, 32(4), 196-214.
- Graybeal, C. (2010). Teachers' Senses of Obligation to Curricular Messages. *International Journal for Mathematics Teaching and Learning*, 1-36.
- Greenberg, M., Domitrovich, C., Graczyk, P. & Zins, J. (2005). *The Study of Implementation in School-based Preventive Interventions: Theory, Research, and Practice*. Rockville: Center for Mental Health Services, Substance Abuse and Mental Health Services Administration.
- Gregoire, M. (2002). *Effects of Augmented Activation, Refutational Text, Efficacy Beliefs, Epistemological Beliefs, and Systematic Processing on Conceptual Change: Unveröffentlichte Dissertation*. Gainesville: University of Florida.
- Gregoire, M. (2003). Is It a Challenge or a Threat? A Dual-Process Model of Teachers' Cognition and Appraisal Processes During Conceptual Change. *Educational Psychology Review*, 15(2), 147-179.
- Grehn, J. (2014). *Metzler-Physik*. Braunschweig: Schroedel.
- Groeben, N., Wahl, D., Schlee, J. & Scheele, B. (1988). *Das Forschungsprogramm Subjektive Theorien: Eine Einführung in die Psychologie des reflexiven Subjekts*. Tübingen: Francke.
- Haas, A. (1998). *Unterrichtsplanung im Alltag: Eine empirische Untersuchung zum Planungshandeln von Hauptschul-, Realschul- und Gymnasiallehrern*. Regensburg: Roderer.
- Haas, B. & Scheibelhofer, E. (1998). *Typenbildung in der qualitativen Sozialforschung: Eine methodologische Analyse anhand ausgewählter Beispiele*. Wien: Institut für Höhere Studien.
- Haenisch, H. (1994). *Wie Lehrerfortbildung Schule und Unterricht verändern kann: Eine empirische Untersuchung zu den Bedingungen der Übertragbarkeit von Fortbildungserfahrungen in die Praxis*. Soest: Landesinstitut für Schule und Weiterbildung.
- Hall, G., Loucks, S., Rutherford, W. & Newlove, B. (1975). Levels of Use of the Innovation: A Framework for Analyzing Innovation Adoption. *Journal of Science Teacher Education*, 26(1), 52-56.
- Harms, U. & Riese, J. (2018). Professionelle Kompetenz und Professionswissen. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschafts-didaktischen Forschung* (S. 283-298). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Härtig, H., Kauertz, A. & Fischer, H. E. (2012). Das Schulbuch im Physikunterricht: Nutzung von Schulbüchern zur Unterrichtsvorbereitung in Physik. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 65(4), 197-200.
- Hasenkamp, A., Windt, A. & Rumann, S. (2016). Qualität der Sachunterrichtsplanung im Vorbereitungsdienst. In C. Maurer (Hrsg.), *Authentizität und Lernen – das Fach in der Fachdidaktik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Berlin 2015* (S. 278-280). Berlin: Humboldt-Universität Berlin.
- Hattie, J. (2009). *Visible Learning for Teachers: Maximizing Impact on Learning*. London, New York: Routledge Taylor & Francis Group.
- Haupt, J. & Nordmeier, V. (2014). *Ergebnisse einer Bedarfsanalyse zur unterrichtlichen Aufbereitung der Nichtlinearen Physik*. Verfügbar unter: <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/586> [15.09.2020].
- Helfferich, C. (2011). *Die Qualität qualitativer Daten* (4. Auflage). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Helmke, A. (2009). Unterrichtsforschung. In K.-H. Arnold, U. Sandfuchs & J. Wiechmann (Hrsg.), *Handbuch Unterricht* (2. Auflage, S. 44-50). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

- Helsper, W. (2004). Antinomie, Widersprüche, Paradoxien: Lehrerarbeit – ein unmögliches Geschäft? Eine strukturtheoretisch-rekonstruktive Perspektive auf das Lehrhandeln. In B. Koch-Priewe, F.-U. Kolbe & J. Wildt (Hrsg.), *Grundlagenforschung und mikrodidaktische Reformansätze zur Lehrerbildung* (S. 49-98). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Herfter, C., Spendrin, K., Heinze, F., Leicht, J. & Kinoshita, E. (2019). Normativität in der qualitativen Forschung. *Zeitschrift für Qualitative Forschung*, 20(2), 253-269.
- Hetmanek, A., Wecker, C., Kiesewetter, J., Trempler, K., Fischer, M., Gräsel, C. & Fischer, F. (2015). Wozu nutzen Lehrkräfte welche Ressourcen? Eine Interviewstudie zur Schnittstelle zwischen bildungswissenschaftlicher Forschung und professionellem Handeln im Bildungsbereich. *Zeitschrift für Lernforschung (Unterrichtswissenschaft)*, 43(3), 193-208.
- Hill, H., Rowan, B. & Ball, D. (2005). Effects of Teachers' Mathematical Knowledge for Teaching on Student Achievement. *American Educational Research Journal*, 42(2), 371-406.
- Hinzke, J.-H., Gesang, J. & Besa, K.-S. (2020). Zur Erschließung der Nutzung von Forschungsergebnissen durch Lehrpersonen. Forschungsrelevanz zwischen Theorie und Praxis. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 23(6), 1303-1323.
- Hoffmann, L., Häußler, P. & Lehrke, M. (1998). *Die IPN-Interessenstudie Physik*. Kiel: IPN.
- Hofstein, A. & Lunetta, V. (2004). The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-first Century. *Science Education*, 88(1), 28-54.
- Hopf, M. & Schecker, H. (2018). Schülervorstellungen zu fortgeschrittenen Themen der Schulphysik. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (S. 225-242). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hopmann, S. (2007). Restrained Teaching: The Common Core of Didaktik. *European Educational Research Journal*, 6(2), 109-124.
- Howe, C., Ilie, S., Guardia, P., Hofmann, R., Mercer, N. & Riga, F. (2015). Principled Improvement in Science: Forces and Proportional Relations in Early Secondary-school Teaching. *International Journal of Science Education*, 37(1), 162-184.
- Hübinger, R. (2008). *Schüler auf Weltreise: Entwicklung und Evaluation von Lehr-/Lernmaterialien zur Förderung experimentell-naturwissenschaftlicher Kompetenzen für die Jahrgangsstufen 5 und 6*. Berlin: Logos.
- Humphrey, N., Barlow, A. & Lendrum, A. (2018). Quality Matters: Implementation Moderates Student Outcomes in the PATHS Curriculum. *Prevention Science*, 19(2), 197-208.
- Jaccard, J., Litardo, H. & Wan, C. (1999). Subjective Culture and Social Behavior. In J. Adamopoulos & P. Y. Kashima (Hrsg.), *Cross Cultural Psychology. Social Psychology and Cultural Context* (S. 95-106). Thousand Oaks: Sage Publications.
- Johnston, I., Crawford, K. & Fletcher, P. (1998). Student Difficulties in Quantum Mechanics. *International Journal of Science Education*, 20(4), 427-446.
- Jones, M. & Carter, G. (2010). Science Teacher Attitudes. In S. Abell & N. Lederman (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education* (S. 1067-1104). New York: Routledge.
- Jung, W. (1983). *Anstöße: Ein Essay über die Didaktik der Physik und ihre Probleme*. Frankfurt a.M.: Diesterweg.
- Kagan, D. (1990). Ways of Evaluating Teacher Cognition: Inferences Concerning the Goldilocks Principle. *Review of Educational Research*, 60, 419-469.

- Kahlert, J., Hedtke, R. & Schwier, V. (2000). Wenn Lehrer wüssten, was Lehrer wissen: Beschaffung von Informationen für den Unterricht. In O. Graumann (Hrsg.), *Lehrerprofessionalität – Lehrerprofessionalisierung* (S. 349-358). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Kane, M. (2001). Current Concerns in Validity Theory. *Journal of Educational Measurement*, 38(4), 319-342.
- Kane, M. (2013). Validating the Interpretations and Uses of Test Scores. *Journal of Educational Measurement*, 50(1), 1-73.
- Kartamiharja, M. R. & Sopandi, W. (2020). Educative Curriculum Material and Its Impact on the Teachers' Instructional Performance and Learners' Achievement. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 19(1), 206-230.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion: Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3-18.
- Kauffman, D., Johnson, S. M., Kardos, S. M., Liu, E. & Peske, H. G. (2002). "Lost at Sea": New Teachers' Experiences with Curriculum and Assessment. *Teachers College Record*, 104(2), 273-300.
- Keller, M., Neumann, K. & Fischer, H. E. (2017). The Impact of Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge and Motivation on Students' Achievement and Interest. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(5), 586-614.
- Kempin, M., Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2020). Wirkung von Professionswissen und Praxisphasen auf die Reflexionsfähigkeit von Physiklehramtsstudierenden. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019* (S. 439-442). Wien: Universität Wien.
- Kernlehrplan Physik Hessen (2016). *Kerncurriculum gymnasiale Oberstufe: Physik*. Verfügbar unter: <https://kultusministerium.hessen.de/schulsystem/bildungsstandards-kerncurricula-und-lehrplaene/kerncurricula/gymnasiale-oberstufe/physik> [26.05.2020].
- Kernlehrplan Physik Mecklenburg-Vorpommern (2019). *Kerncurriculum gymnasiale Oberstufe: Physik*. Verfügbar unter: www.bildung-mv.de/lehrer/schule-und-unterricht/faecher-und-rahmenplaene/rahmenplaene-an-allgemeinbildenden-schulen/physik/ [26.05.2020].
- Kernlehrplan Physik Niedersachsen (2016). *Kerncurriculum gymnasiale Oberstufe: Physik*. Verfügbar unter: www.nibis.de/physik-im-sekundarbereich-ii_6680 [20.05.2019].
- Kernlehrplan Physik NRW (2014). *Kerncurriculum gymnasiale Oberstufe: Physik*. Verfügbar unter: www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplannavigator-s-ii/gymnasiale-oberstufe/physik/ [26.05.2020].
- Kim, O.-K. & Remillard, J. (2020a). Authors Retrospective Reflections on Designing Opportunities for Student Learning. In J. Remillard & O.-K. Kim (Hrsg.), *Elementary Mathematics Curriculum Materials. Designs for Student Learning and Teacher Enactment* (1. Auflage, S. 109-137). Cham: Springer.
- Kim, O.-K. & Remillard, J. (2020b). Examining the Mathematical Emphasis in Five Curriculum Programs. In J. Remillard & O.-K. Kim (Hrsg.), *Elementary Mathematics Curriculum Materials. Designs for Student Learning and Teacher Enactment* (1. Auflage, S. 29-66). Cham: Springer.
- Kirk, J., & Miller, M. (1986). *Reliability and Validity in Qualitative Research*. Newbury Park: Sage.

- Klafki, W. (1969). Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung. In H. Roth & A. Blumenthal (Hrsg.), *Didaktische Analyse* (10. Auflage, S. 5-34). Hannover: Schroedel.
- Kleickmann, T. & Möller, K. (2007). Können Lehrerfortbildungen einen Beitrag zur Förderung naturwissenschaftlichen Verständnisses bei Schülerinnen und Schülern leisten? In K. Möller, P. Hanke, C. Beinbrech, K. A. Hein, T. Kleickmann, & R. Quentmeier (Hrsg.), *Qualität von Grundschulunterricht. Entwickeln, erfassen und bewerten* (1. Auflage, S. 167-170). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Kleickmann, T., Richter, D., Kunter, M., Elsner, J., Besser, M., Krauss, S. & Baumert, J. (2013). Teachers' Content Knowledge and Pedagogical Content Knowledge: The Role of Structural Differences in Teacher Education. *Journal of Teacher Education*, *64* (1), 90-106.
- Kleickmann, T., Tröbst, S., Jonen, A., Vehmeyer, J. & Möller, K. (2016). The Effects of Expert Scaffolding in Elementary Science Professional Development on Teachers' Beliefs and Motivations, Instructional Practices, and Student Achievement. *Journal of Educational Psychology*, *108*(1), 21-42.
- Klieme, E. & Leutner, D. (2006). Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen – Beschreibung eines neu eingerichteten Schwerpunktprogramms der DFG. *Zeitschrift für Pädagogik*, *52*(6), 876-903.
- Knowles, M. S., Holton, E. F. & Swanson, R. A. (2012). *The Adult Learner: The Definitive Classic in Adult Education and Human Resource Development* (7. Auflage). London: Routledge.
- Koller, D. & Waltner, C. (2008). Zur Einführung von Stromstärke und Spannung. *Praxis der Naturwissenschaften*, *57*(6), 6-18.
- Köller, O., Möller, J. & Möller, J. (2013). *Was wirkt wirklich? Einschätzungen von Determinanten schulischen Lernens*. München: Oldenbourg.
- König, J., Buchholz, C. & Dohmen, D. (2015). Analyse von schriftlichen Unterrichtsplanungen: Empirische Befunde zur didaktischen Adaptivität als Aspekt der Planungskompetenz angehender Lehrkräfte. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *18*, 375-404.
- Korneck, F., Krüger, M. & Szogs, M. (2017). Professionswissen, Lehrerüberzeugungen und Unterrichtsqualität angehender Physiklehrkräfte unterschiedlicher Schulformen. In H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften der Chemie und Physik* (S. 113-133). Berlin: Logos.
- Kracauer, S. (1952). The Challenge of Qualitative Content Analysis. *Public Opinion Quarterly*, *16* (4), 631-642.
- Krebs, D. & Menold, N. (2014). Gütekriterien quantitativer Sozialforschung. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 425–438). Wiesbaden: Springer.
- Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H., Brinkman, A. & van Joolingen, W. R. (2017). Insights into Teaching Quantum Mechanics in Secondary and Lower Undergraduate Education. *Physical Review Physics Education Research*, *13*(1), 1-21.
- Krippendorff, K. (2004). *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology* (2. Auflage). Thousand Oaks: Sage Publications.
- Krüger, D., Parchmann, I. & Schecker, H. (Hrsg.) (2014). *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Krüger, D. & Riemeier, T. (2014). Die qualitative Inhaltsanalyse – eine Methode zur Auswertung von Interviews. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.),

- Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 133-146). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kuckartz, U. (2012). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (1. Auflage). Weinheim: Beltz Juventa.
- Kuckartz, U. (2014). *Qualitative Text Analysis. A Guide to Methods, Practice & Using Software*. London: Sage.
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (4. Auflage). Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Kuckartz, U. (2019). Qualitative Inhaltsanalyse: Von Kracauers Anfängen zu heutigen Herausforderungen. *Forum: Qualitative Sozialforschung*, 20(3).
- Kuhn, W. (1992). Quantenmechanik: Eine wissenschaftstheoretisch reflektierte Analyse ihres ideengeschichtlichen Entwicklungsprozesses. In H. Fischler (Hrsg.), *Quantenphysik in der Schule* (S. 29-68). Kiel: IPN.
- Kulgemeyer, C. & Riese, J. (2018). From Professional Knowledge to Professional Performance: The Impact of CK and PCK on Teaching Quality in Explaining Situations. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(10), 1393-1418.
- Kultusministerkonferenz (2004a). *Einheitliche Prüfungsanforderungen für die Abiturprüfung: Physik*. Verfügbar unter: www.kmk.org/fileadmin/1989_12_01-EPA-Physik [05.08.2020].
- Kultusministerkonferenz (2004b). *Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004*. Verfügbar unter: www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Standards-Lehrerbildung.pdf [06.06.2020].
- Kunter, M., Kleickmann, T., Klusmann, U. & Richter, D. (2011). Die Entwicklung professioneller Kompetenz von Lehrkräften. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 55-68). Münster: Waxmann.
- Labudde, P. (2000). *Konstruktivismus im Physikunterricht der Sekundarstufe II*. Bern: Verlag Paul Haupt.
- Land, T., Tyminski, A. & Drake, C. (2015). Examining Pre-service Elementary Mathematics Teachers' Reading of Educative Curriculum Materials. *Teaching and Teacher Education*, 51, 16-26.
- Larrain, A., Howe, C. & Freire, P. (2018). 'More Is not Necessarily Better': Curriculum Materials Support the Impact of Classroom Argumentative Dialogue in Science Teaching on Content Knowledge. *Research in Science & Technological Education*, 36(3), 282-301.
- Leisen, J. (2009). Erkenntnistheorie im Physikunterricht. *Der mathematisch und naturwissenschaftliche Unterricht*, 62(7), 388-394.
- Lendrum, A. & Humphrey, N. (2012). The Importance of Studying the Implementation of Interventions in School Settings. *Oxford Review of Education*, 38(5), 635-652.
- Leuchter, M. (2009). *Die Rolle der Lehrperson bei der Aufgabenbearbeitung: Unterrichtsbezogene Kognitionen von Lehrpersonen*. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Leuchter, M., Pauli, C., Reusser, K. & Lipowsky, F. (2006). Unterrichtsbezogene Überzeugungen und handlungsleitende Kognitionen von Lehrpersonen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 562-579.
- Lienert, G. A. & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse* (6. Auflage). Weinheim: Beltz.
- Lincoln, Y. & Guba, E. (1985). *Naturalistic Inquiry*. Newbury Park: Sage.

- Lindvall, J. (2016). *Supporting Instructional Improvement at Scale: The Role of Teacher Professional Development Programs and Mathematics Curriculum Materials*. Västerås: Mälardalen University.
- Lipowsky, F. (2006). Auf den Lehrer kommt es an. Empirische Evidenzen für Zusammenhänge zwischen Lehrerkompetenzen, Lehrerhandeln und dem Lernen der Schüler. *Zeitschrift für Pädagogik*, (51), 47-70.
- Lipowsky, F. (2010). Lernen im Beruf: Empirische Befunde zur Wirksamkeit von Lehrerfortbildungen. In F. H. Müller, A. Eichenberger, M. Lüders & J. Mayr (Hrsg.), *Lehrerinnen und Lehrer lernen. Konzepte und Befunde zur Lehrerfortbildung* (S. 51-72). Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Lipowsky, F. (2014). Theoretische Perspektiven und empirische Befunde zur Wirksamkeit von Lehrerfort- und -weiterbildung. In E. Terhart, H. Bennewitz & M. Rothland (Hrsg.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (2. Auflage, S. 511-541). Münster, New York: Waxmann.
- Lipowsky, F. (2019). Wie kommen Befunde der Wissenschaft in die Klassenzimmer? Impulse der Fortbildungsforschung. In C. Donie, F. Foerster & M. Obermayr (Hrsg.), *Grundschulpädagogik zwischen Wissenschaft und Transfer* (S. 144-161). Wiesbaden: Springer.
- Lloyd, G. M. & Behm, S. L. (2005). Preservice Elementary Teachers' Analysis of Mathematics Instructional Materials. *Action in Teacher Education*, 26(4), 48-62.
- Louws, M. L., Meirink, J. A., van Veen, K. & van Driel, J. H. (2017). Teachers' Self-directed Learning and Teaching Experience: What, How, and Why Teachers Want to Learn. *Teaching and Teacher Education*, 66, 171-183.
- Mackie, D. M. & Worth, L. T. (1991). Feeling Good, but not Thinking Straight: The Impact of Positive Mood on Persuasion. In J. P. Forgas (Hrsg.), *Emotion and Social Judgments* (S. 201-219). Oxford: Pergamon Press.
- Markic, S., Eilks, I., van Driel, J. & Ralle, B. (2009). Vorstellungen deutscher Chemielehrkräfte über das Chemiecurriculum. In D. Höttecke (Hrsg.), *Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung* (S. 158-160). Münster: Lit.
- Matic, L. (2019). The Pedagogical Design Capacity of a Lower Secondary Mathematics Teacher and Her Interaction with Curriculum Resources. *Journal of Research in Mathematics Education*, 8(1), 53-75.
- Matic, L. & Glasnovic Gracin, D. (2020). How Do Teacher Guides Give Support to Mathematics Teachers? Analysis of a Teacher Guide and Exploration of Its Use in Teachers' Practices. *Research in Mathematics Education*, 20(3), 1-20.
- Mayring, P. (2002). *Einführung in die qualitative Sozialforschung* (5. Auflage). Weinheim: Beltz.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (11. Auflage). Weinheim & Basel: Beltz.
- Mayring, P. (2019). Qualitative Inhaltsanalyse – Abgrenzungen, Spielarten, Weiterentwicklungen. *Forum: Qualitative Sozialforschung*, 20(3), 1-15.
- McCutcheon, G. (1980). How Do Elementary School Teachers Plan? The Nature of Planning and Influences on It. *The Elementary School Journal*, 81(1), 4-23.
- McNeill, K. (2009). Teachers' Use of Curriculum to Support Students in Writing Scientific Arguments to Explain Phenomena. *Science Education*, 93(2), 233-268.
- McNeill, K. L., Pimentel, D. S. & Strauss, E. G. (2013). The Impact of High School Science Teachers' Beliefs, Curricular Enactments and Experience on Student Learning During an Inquiry-based Urban Ecology Curriculum. *International Journal of Science Education*, 35(15), 2608-2644.

- Merzlyn, G. (1994). *Physik-Schulbücher, Physiklehrer und Physikunterricht: Beiträge auf der Grundlage einer Befragung westdeutscher Physiklehrer*. Kiel: IPN.
- Messick, S. (1989). Validity. In R. Linn (Hrsg.), *Educational Measurement* (3. Auflage, S. 13-103). New York: American Council on Education.
- Messick, S. (1994). *Validity of Psychological Assessment: Validation of Inferences from Persons' Responses and Performances as Scientific Inquiry into Score Meaning*. Verfügbar unter: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/j.2333-8504.1994.tb01634.x>. [16.09.2020].
- Michie, S., Johnston, M., Abraham, C., Lawton, R., Parker, D. & Walker, A. (2005). Making Psychological Theory Useful for Implementing Evidence Based Practice: A Consensus Approach. *Quality & Safety in Health Care*, 14(1), 26-33.
- Miles, M. & Huberman, M. (1994). *Qualitative Data Analysis: An Expanded Sourcebook* (1. Auflage). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Miles, M., Huberman, M. & Saldana, J. (2014). *Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook* (3. Auflage). Los Angeles: Sage Publications.
- Möller, K. (2010). Lehrmittel als Tools für die Hand der Lehrkräfte. Ein Mittel zur Unterrichtsentwicklung? *Beiträge zur Lehrerbildung*, 28(1), 97-108.
- Morse, J., Barrett, M., Mayan, M., Olson, K. & Spiers, J. (2002). Verification Strategies for Establishing Reliability and Validity in Qualitative Research. *International Journal of Qualitative Methods*, 1(2), 1-19.
- Muckenfuß, H. (1995). *Lernen im sinnstiftenden Kontext: Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts* (1. Auflage). Berlin: Cornelsen.
- Müller, R. (2003). *Quantenphysik in der Schule*. Berlin: Logos.
- Müller, R. (2008). Das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenphysik. *Physik in der Schule*, 57(6), 19-25.
- Müller, R. (2019). *Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik*. Verfügbar unter: www.milq.info [08.08.2020].
- Müller, R., Berger, R. & Wiesner, H. (1998). Didaktische Aspekte des quantenmechanischen Zustandsbegriffs. *Physik in der Schule*, 36, 54-58.
- Müller, R. & Schecker, H. (2018). Schülervorstellungen zur Quanten- und Atomphysik. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (S. 209-224). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Müller, R. & Wiesner, H. (1997). *Vorstellungen von Lehramtsstudenten zur Interpretation der Quantenmechanik. Ergebnisse von Befragungen*. Verfügbar unter: www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/ifdn-physik/potsdam-paper.pdf [02.07.2019].
- Müller, R. & Wiesner, H. (2000). Das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik. *Physik in der Schule*, 38(2), 126-134.
- Müller, R. & Wiesner, H. (2002). Teaching Quantum Mechanics on an Introductory Level. *American Journal of Physics*, 70(3), 200-209.
- Müller-Bittner, A. (2008). *Rezeption und Verwendung geographischer Lehr- und Lernmaterialien im bilingualen Sachfachunterricht*. Verfügbar unter: www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwjppfKmu5bZAhVEL1AKHQ_XBfAQFgg1MAI&url=http%3A%2F%2Fwww-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de%2Fnetatml%2FHSS%2FDiss%2FMuellerBittnerAnke%2Fdiss.pdf&usg=AOvVaw38PhjXjgnoZagLvVDHy2zd [20.11.2020]
- Neumann, D. (2015). *Bildungsmedien Online: Kostenloses Lehrmaterial aus dem Internet: Marktsichtung und empirische Nutzungsanalyse*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

- Neumann, I. & Kremer, K. (2013). Nature of Science und epistemologische Überzeugungen – Ähnlichkeiten und Unterschiede. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 209-232.
- Neuweg, G. (2002). Lehrerhandeln und Lehrerbildung im Lichte des Konzepts des impliziten Wissens. *Zeitschrift für Pädagogik*, 48(1), 10-29.
- Neuweg, G. (2011). Das Wissen der Wissensvermittler – Problemstellungen, Befunde und Perspektiven der Forschung zum Lehrwissen. In E. Terhart, H. Bennewitz & M. Rothland (Hrsg.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (S. 451-477). Münster: Waxmann.
- Niebert, K. & Gropengießer, H. (2014). Leitfadengestützte Interviews. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 121-132). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Niehaus, I. (2011). *Wissenschaftliche Recherche und Analyse zur Gestaltung, Verwendung und Wirkung von Lehrmitteln: Metaanalyse und Empfehlungen*. Verfügbar unter: www.stopp-gewalt.zh.ch/dam/bildungsdirektion/direktion/ [16.09.2020].
- Nilsen, P. (2015). Making Sense of Implementation Theories, Models and Frameworks. *Implementation Science*, 10, 1-13.
- Nilsen, P. & Bernhardsson, S. (2019). Context Matters in Implementation Science: A Scoping Review of Determinant Frameworks that Describe Contextual Determinants for Implementation Outcomes. *BMC Health Services Research*, 19(1), 1-21.
- Nowak, A., Kempin, M., Kulgemeyer, C. & Borowski, A. (2019). Reflexion von Physikunterricht. 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. 838-841). Kiel: Universität Kiel.
- O'Donnell, C. L. (2008). Defining, Conceptualizing, and Measuring Fidelity of Implementation and Its Relationship to Outcomes in K-12 Curriculum Intervention Research. *Review of Educational Research*, 78(1), 33-84.
- OECD (2001). *Knowledge and Skills for Life: First Results from PISA 2000*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.
- OECD (2006). *Annual Report 2006*. Verfügbar unter: www.oecd-ilibrary.org/economics/oecd-annual-report-2006_annrep-2006-en [11.08.2020].
- Oettinghaus, L., Korneck, F., Krüger, M. & Lamprecht, J. (2016). Lehrerüberzeugungen von Quereinsteigern und Lehramtsabsolventen im Physikreferendariat. *Lehrerbildung auf dem Prüfstand*, 9(1), 79-99.
- Oevermann, U., Allert, T., Konau, E. & Krambeck, J. (1979). Die Methodologie einer „objektiven Hermeneutik“ und ihre allgemeine forschungslogische Bedeutung in den Sozialwissenschaften. In H.-G. Soeffner (Hrsg.), *Interpretative Verfahren in den Sozial- und Textwissenschaften* (1. Auflage, S. 352-434). Stuttgart: Metzler.
- Open Science Collaboration (2015). Estimating the Reproducibility of Psychological Science. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1126/science.aac4716> [22.05.2020].
- Orpwood, G. (2015). Curriculum. In R. Gunstone (Hrsg.), *Encyclopedia of Science Education*. Dordrecht: Springer.
- Oser, F. & Baeriswyl, F. (2001). Choreographies of Teaching – Bridging Instruction to Learning. In V. Richardson (Hrsg.), *Handbook of Research on Teaching* (4. Auflage, S. 1031-1065). Washington, DC: American Educational Research Association.
- Oswald, H. (2013). Was heißt qualitativ forschen? In B. Friebertshäuser, A. Langer & A. Prengel (Hrsg.), *Handbuch qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft* (4. Auflage, S. 183-201). Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Pajares, F. (1992). Teachers' Beliefs and Educational Research: Cleaning up a Messy Construct. *Review of Educational Research*, 62(3), 307-332.

- Patry, J.-L. (2014). Theoretische Grundlagen des Theorie-Praxis-Problems in der Lehrer/innenbildung. In K.-H. Arnold, A. Gröschner & T. Hascher (Hrsg.), *Schulpraktika in der Lehrerbildung. Theoretische Grundlagen, Konzeptionen, Prozesse und Effekte* (1. Auflage, S. 29-44). Münster: Waxmann.
- Peacock, A. & Gates, S. (2000). Newly Qualified Primary Teachers' Perceptions of the Role of Text Material in Teaching Science. *Research in Science & Technological Education, 18*, 155-170.
- Penuel, W. R., Fishman, B. J., Yamaguchi, R. & Gallagher, L. P. (2007). What Makes Professional Development Effective? Strategies That Foster Curriculum Implementation. *American Educational Research Journal, 44* (4), 921-958.
- Pepin, B., Gueudet, G. & Trouche, L. (2013). Re-sourcing Teachers' Work and Interactions: A Collective Perspective on Resources, Their Use and Transformation. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik, 45* (7), 929-943.
- Pepin, B. & Haggarty, L. (2001). Mathematics Textbooks and Their Use in English, French and German Classrooms: A Way to Understand Teaching and Learning Cultures. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik, 33* (5), 158-175.
- Petri, J. (2014). Fallstudien zur Analyse von Lernpfaden. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 95-105). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Pianta, R., Hamre, B. & Mintz, S. (2012). *Classroom Assessment Scoring System: Secondary Manual*. Charlottesville, VA: Teachstone.
- Popper, K. (1935). *Logik der Forschung: Zur Erkenntnistheorie der modernen Naturwissenschaft*. Wien: Springer.
- Porter, A., Garet, M., Desimone, L. M., Yoon, K. & Birman, B. (2000). *Does Professional Development Change Teaching Practice? Results from a Three-Year Study*. Verfügbar unter: <https://eric.ed.gov/?id=ED455227> [17.09.2020].
- Pospiech, G. & Schöne, M. (2012). *Quantenphysik in Schule und Hochschule*. Verfügbar unter: <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/392/509> [11.08.2020].
- Praetorius, A.-K. & Charalambous, C. (2018). Classroom Observation Frameworks for Studying Instructional Quality: Looking back and Looking forward. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik, 50* (3), 535-553.
- Prenzel, M. (2008). What Can Be Learnt from Model Experiments? Thoughts on the Dissemination of Results and Findings. In S. Mikelskis-Seifert, U. Ringelband & M. Brückmann (Hrsg.), *Four Decades of Research in Science Education. From Curriculum Development to Quality Improvement* (S. 239-252). Münster, New York, München: Waxmann.
- Prenzel, M., Duit, R., Euler, M. & Seidel, T. (Hrsg.) (2001). *Erhebungs- und Auswertungsverfahren des DFG-Projekts „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht – eine Videostudie“*. Kiel: IPN.
- Pringle, R., Mesa, J. & Haynes, L. (2017). Professional Development for Middle School Science Teachers: Does an Educative Curriculum Make a Difference? *Journal of Science Teacher Education, 28* (1), 57-72.
- Prosser, M. & Trigwell, K. (1999). *Understanding Learning and Teaching: The Experience in Higher Education*. Michigan: Society for Research into Higher Education & Open University Press.
- QUA-LIS-NRW (2019). *Handbuch zu 25 Schlüsselexperimenten im Grundkurs Physik*. Verfügbar unter: www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplannavigators-ii/gymnasiale-oberstufe/physik/hinweise-und-beispiele/se2.html [30.09.2020].

- Rabe, T., Meinhard, C. & Krey, O. (2018). Entwicklung eines Instruments zur Erhebung von Selbstwirksamkeitserwartungen in physikdidaktischen Handlungsfeldern. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 131-150.
- Reichertz, J. (2019). *Methodenpolizei oder Gütesicherung? Zwei Deutungsmuster im Kampf um die Vorherrschaft in der qualitativen Sozialforschung*. Verfügbar unter: www.ssoar.info/ssoar/handle/document/61265 [17.09.2020].
- Reinhold, P. (1997). *Integrierte naturwissenschaftliche Grundbildung: Lehrerfallstudien zur Unterrichtspraxis*. Kiel: IPN.
- Reinhold, P. (2006). Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion. In H. Mikelskis (Hrsg.), *Physik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (1. Auflage, S. 86-101). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Reinke, L., Remillard, J. & Kim, O.-K. (2020). Examining Design Transparency in Elementary Mathematics Curriculum Materials. In J. Remillard & O.-K. Kim (Hrsg.), *Elementary Mathematics Curriculum Materials. Designs for Student Learning and Teacher Enactment* (1. Auflage, S. 227-256). Cham: Springer.
- Remillard, J. (1999). Curriculum Materials in Mathematics Education Reform: A Framework for Examining Teachers' Curriculum Development. *Curriculum Inquiry*, 29(3), 315-342.
- Remillard, J. (2005). Examining Key Concepts in Research on Teachers' Use of Mathematics Curricula. *Review of Educational Research*, 75(2), 211-246.
- Remillard, J. & Kim, O.-K. (2020a). Complexity of Curriculum Materials as Designed Artifacts: Implications and Future Directions. In J. Remillard & O.-K. Kim (Hrsg.), *Elementary Mathematics Curriculum Materials. Designs for Student Learning and Teacher Enactment* (1. Auflage, S. 259-285). Cham: Springer.
- Remillard, J. & Kim, O.-K. (Hrsg.) (2020b). *Elementary Mathematics Curriculum Materials: Designs for Student Learning and Teacher Enactment* (1. Auflage). Cham: Springer.
- Remillard, J., & Kim, O.-K. (2020c). A Framework for Analyzing Elementary Mathematics Curriculum Materials. In J. Remillard & O.-K. Kim (Hrsg.), *Elementary Mathematics Curriculum Materials. Designs for Student Learning and Teacher Enactment* (1. Auflage, S. 1-24). Cham: Springer.
- Remillard, J., van Steenbrugge, H. & Bergqvist, T. (2014). A Cross-Cultural Analysis of the Voice of Curriculum Materials. In K. Jones, C. Bokhove, G. Howson & L. Fan (Hrsg.), *Proceedings of the International Conference on Mathematics Textbook Research and Development* (S. 395-400). Southampton: University of Southampton.
- Reusser, K. (2009). Von der Bildungs- und Unterrichtsforschung zur Unterrichtsentwicklung. Probleme, Strategien, Werkzeuge und Bedingungen. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 27(3), 295-312.
- Richter, E., Richter, D. & Marx, A. (2018). Was hindert Lehrkräfte an Fortbildungen teilzunehmen? Eine empirische Untersuchung der Teilnahmebarrieren von Lehrkräften der Sekundarstufe I in Deutschland. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 21(5), 1021-1043.
- Riegler, P. (2014). Schwellenkonzepte, Konzeptwandel und die Krise der Mathematikausbildung. *Zeitschrift für Hochschulentwicklung*, 9(4), 241-257.
- Riese, J. & Reinhold, P. (2012). Die professionelle Kompetenz angehender Physiklehrkräfte in verschiedenen Ausbildungsformen. Empirische Hinweise für eine Verbesserung des Lehramtsstudiums. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 15(1), 111-143.
- Robertson, E. & Kohnle, A. (2009). Testing the Development of Student Conceptual Understanding of Quantum Mechanics. *Proceedings of GIREP-EPEC & PHEC 2009 Conference*, 261-273.

- Rochnia, M. & Trempler, K. (2019). Welche externen Wissensquellen bevorzugen Lehrkräfte für ihr professionelles Handeln? *Lehrerbildung auf dem Prüfstand*, 12(2), 125-142.
- Roehrig, G., Kruse, R. & Kern, A. (2007). Teacher and School Characteristics and Their Influence on Curriculum Implementation. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(7), 883-907.
- Roseman, J. E., Stark, L., Abell, C. H., Bass, K., de Boer, G., Drits, D. et al. (2019). *Developing High School Biology Curriculum Materials that Support NGSS Teaching and Learning: Opportunities and Challenges*. Verfügbar unter: <https://pdfs.semanticscholar.org/2f72/9e01529861705712df729ba8b3b9d5044c2e.pdf> [21.07.2020].
- Rosenthal, R. (2002). The Pygmalion Effect and Its Mediating Mechanisms. In J. Aronson (Hrsg.), *Educational Psychology Series. Improving Academic Achievement. Impact of Psychological Factors on Education* (S. 25-36). Amsterdam, Boston: Academic Press.
- Sackett, D., Rosenberg, W., Gray, M., Haynes, B. & Richardson, S. (1996). Evidence-based Medicine: What It Is and What It Is Not. *British Medical Journal*. (312), 71-72.
- Sandmann, A. (2014). Lautes Denken – die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 179-188). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schmidt, W., Tatto, M., Bankov, K., Blömeke, S., Cedillo, T., Cogan, L. et al. (2007). *The Preparation Gap: Teacher Education for Middle School Mathematics in Six Countries (MT21 Report)*. Verfügbar unter: <http://usted.ms.edu/MT21Report.pdf> [18.08.2020].
- Schneider, R. & Krajcik, J. (2002). Supporting Science Teacher Learning: The Role of Educative Curriculum Materials. *Journal of Science Teacher Education*, 13(3), 221-245.
- Schneider, R. M., Krajcik, J. & Blumenfeld, P. (2005). Enacting Reform-based Science Materials: The Range of Teacher Enactments in Reform Classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(3), 283-312.
- Schön, D. (1983). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. New York: Basic Books.
- Schöne, M. (2018). *Die Verbesserung der Lehramtsausbildung im Bereich moderner Physik am Beispiel der Quantentheorie: Konzeption und Evaluation eines fachdidaktischen Seminars*.
- Schorn, B. & Wiesner, H. (2008). Die Quantenphysik in der Sekundarstufe I. *Praxis der Naturwissenschaften*, 57(6), 26-33.
- Schrader, J. & Hasselhorn, M. (2020). Implementationsforschung im Bildungsbereich. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 23(1), 1-8.
- Schrader, J., Hasselhorn, M., Hetfleisch, P. & Goeze, A. (2020). Stichwortbeitrag Implementationsforschung: Wie Wissenschaft zu Verbesserungen im Bildungssystem beitragen kann. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 23(1), 9-59.
- Schreier, M. (2012). *Qualitative Content Analysis in Practice*. London: Sage.
- Schreier, M. (2014). Varianten qualitativer Inhaltsanalyse: Ein Wegweiser im Dickicht der Begrifflichkeiten. *Forum: Qualitative Sozialforschung*, 15(1), 1-27.
- Schreier, M., Stamann, C., Janssen, M., Dahl, T. & Whittal, A. (2019). Qualitative Content Analysis: Conceptualizations and Challenges in Research Practice – Introduction to the FQS Special Issue "Qualitative Content Analysis I". *Forum: Qualitative Sozialforschung*, 20(3).

- Schröder, J., Vogelsang, C. & Riese, J. (2020). Messung der Fähigkeit zur Unterrichtsplanung bei Lehramtsstudierenden. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019* (S. 435-438). Wien: Universität Wien.
- Schulze Heuling, L., Mikelskis-Seifert, S. & Nückles, M. (2015). Nature of Science aus Lehrerperspektive. Untersuchungen zum Wissenschaftsverständnis von Physiklehrkräften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21, 41-53.
- Schwarz, N., Bless, H. & Bohner, G. (1991). Mood and Persuasion: Affective States Influence the Processing of Persuasive Communications. In M. P. Zanna (Hrsg.), *Advances in Experimental Social Psychology, Volume 24* (S. 161-199). San Diego, CA: Academic Press.
- Scotti di Uccio, U., Colantonio, A., Galano, S., Marzoli, I., Trani, F. & Testa, I. (2019). Design and Validation of a Two-tier Questionnaire on Basic Aspects in Quantum Mechanics. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), 1-25.
- Seel, A. (1997). Von der Unterrichtsplanung zum konkreten Lehrerhandeln – Eine Untersuchung zum Zusammenhang von Planung und Durchführung von Unterricht bei Hauptschullehrerstudentinnen. *Unterrichtswissenschaft*, 25(3), 257-273.
- Seidel, T. (2014). Angebots-Nutzungs-Modelle in der Unterrichtspsychologie. Integration von Struktur- und Prozessparadigma. *Zeitschrift für Pädagogik*, 60(6), 850-866.
- Seidel, T., Dalehefte, I. M. & Meyer, L. (2001). Richtlinien für Videoaufzeichnungen. In M. Prenzel, R. Duit, M. Euler & T. Seidel (Hrsg.), *Erhebungs- und Auswertungsverfahren des DFG-Projekts „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht – eine Videostudie“*. Kiel: IPN.
- Seidel, T., Prenzel, M., Rimmele, R., Dalehefte, I. M., Herweg, C., Kobarg, M. & Schwindt, K. (2006). Blicke auf den Physikunterricht. Ergebnisse der IPN Videostudie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52(6), 798-821.
- Seidel, T., Reiss, K., Bauer, J., Bannert, M., Blasini, B. et al. (2016). Kompetenzorientierte und evidenzbasierte Lehrerinnen- und Lehrerbildung: Didaktische Weiterentwicklungen im Projekt Teach@TUM. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 34(2), 230-242.
- Shulman, L. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-23.
- Siedel, H. & Stylianides, A. (2018). Teachers' Selection of Resources in an Era of Plenty: An Interview Study with Secondary Mathematics Teachers in England. In L. Fan, L. Trouche, C. Qi, S. Rezart & J. Visnovska (Hrsg.), *Research on Mathematics Textbooks and Teachers' Resources* (S. 119-144). Cham: Springer.
- Singer, J., Marx, R. W., Krajcik, J. & Chambers, J. C. (2000). Constructing Extended Inquiry Projects: Curriculum Materials for Science Education Reform. *Educational Psychologist*, 35(3), 165-178.
- Sleep, L. & Eskelson, S. (2012). MKT and Curriculum Materials Are Only Part of the Story: Insights from a Lesson on Fractions. *Journal of Curriculum Studies*, 44(4), 537-558.
- Soeffner, G. H. (2004). *Auslegung des Alltags – Der Alltag der Auslegung: Zur wissenssoziologischen Konzeption einer sozialwissenschaftlichen Hermeneutik* (2. Auflage). Stuttgart: UTB.
- Songer, N. & Gotwals, A. (2005). *Fidelity of Implementation in Three Sequential Curricular Units*. Verfügbar unter: www.biokids.umich.edu/papers/songergotwals.fidelity05.pdf [15.09.2020].
- Sorge, S., Keller, M., Petersen, S. & Neumann, K. (2018). Die Entwicklung des Professionswissens angehender Physiklehrkräfte. In C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätsvoller*

- Chemie- und Physikunterricht – normative und empirische Dimensionen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017* (S. 114-117). Regensburg: Universität Regensburg.
- Spatz, V., Wilhelm, T., Hopf, M., Waltner, C. & Wiesner, H. (2019). Teachers Using a Novel Curriculum on an Introduction to Newtonian Mechanics: The Effects of a Short-Term Professional Development Program. *Journal of Science Teacher Education*, 30(2), 159-178.
- Stadermann, H. & Goedhart, M. (2020). Secondary School Students' Views of Nature of Science in Quantum Physics. *International Journal of Science Education*, 42(6), 997-1016.
- Stadermann, H., van den Berg, E. & Goedhart, M. (2019). Analysis of Secondary School Quantum Physics Curricula of 15 Different Countries: Different Perspectives on a Challenging Topic. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1).
- Staraschek, E. (2003). Ergebnisse einer Schülerbefragung über Physikschulbücher. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 9, 135-146.
- Stark, R. (2017). Probleme evidenzbasierter bzw. -orientierter pädagogischer Praxis. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 31(2), 99-110.
- Staub, F. (2001). Fachspezifisch-pädagogisches Coaching: Theoriebezogene Unterrichtsentwicklung zur Förderung von Unterrichtsexpertise. *Beiträge zur Lehrerbildung*. (19), 175-198.
- Staub, F. & Stern, E. (2002). The Nature of Teachers' Pedagogical Content Beliefs Matters for Students' Achievement Gains: Quasi-experimental Evidence from Elementary Mathematics. *Journal of Educational Psychology*, 94(2), 344-355.
- Steffensky, M. & Neuhaus, B. (2018). Unterrichtsqualität im naturwissenschaftlichen Unterricht. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 299-313). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Steigleder, S. (2008). *Die strukturierende qualitative Inhaltsanalyse im Praxistest: Eine konstruktiv kritische Studie zur Auswertungsmethodik von Philipp Mayring*. Marburg: Tectum.
- Steinke, I. (1999). *Kriterien qualitativer Forschung: Ansätze zur Bewertung qualitativ-empirischer Sozialforschung* (1. Auflage). Weinheim: Juventa.
- Stender, A. (2014). *Unterrichtsplanung: Vom Wissen zum Handeln. Theoretische Entwicklung und empirische Überprüfung des Transformationsmodells der Unterrichtsplanung*. Berlin: Logos.
- Strauss, A. & Corbin, J. (1996). *Grounded Theory: Grundlagen qualitativer Sozialforschung*. Weinheim: Beltz.
- Strübing, J. (2014). Grounded Theory und Theoretical Sampling. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 457-472). Wiesbaden: Springer.
- Strübing, J., Hirschauer, S., Ayaß, R., Krähnke, U. & Scheffer, T. (2018). Gütekriterien qualitativer Sozialforschung. Ein Diskussionsanstoß. *Zeitschrift für Soziologie*, 47(2), 83-100.
- Tänzer, S. (2011). *Sachunterrichtsplanung aus der Sicht von Lehramtsanwärterinnen*. Verfügbar unter: www.widerstreit-sachunterricht.de [15.08.2020].
- Tänzer, S. (2017). Sachunterricht planen im Vorbereitungsdienst. In S. Wernke & K. Zierer (Hrsg.), *Die Unterrichtsplanung: Ein in Vergessenheit geratener Kompetenzbereich?! Status Quo und Perspektiven aus Sicht der empirischen Forschung* (S. 134-147). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Tarr, J. E., Chávez, Ó., Reys, R. E. & Reys, B. J. (2006). From the Written to the Enacted Curricula: The Intermediary Role of Middle School Mathematics Teachers in

- Shaping Students' Opportunity to Learn. *School Science and Mathematics*, 106 (4), 191-201.
- Tebrügge, A. (2001). *Unterrichtsplanung zwischen didaktischen Ansprüchen und alltäglicher Berufsanforderung: Eine empirische Studie zum Planungshandeln von Lehrerinnen und Lehrern in den Fächern Deutsch, Mathematik und Chemie*. Frankfurt a.M.: Lang.
- Telekom-Stiftung (2017). *Umfrage MINT-Lehrerfortbildung*. Verfügbar unter: www.telekom-stiftung.de/mintlehrerfortb_umfrage [20.06.2018].
- Terhart, E. (2000). *Perspektiven der Lehrerbildung in Deutschland: Abschlussbericht der von der Kultusministerkonferenz eingesetzten Kommission*. Weinheim: Kultusministerkonferenz.
- Terhart, E. (2012). Wie wirkt Lehrerbildung? Forschungsprobleme und Gestaltungsfragen. *Zeitschrift für Bildungsforschung*, 2, 3-21.
- Tesch, M. & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 51-69.
- Tobias, V. (2010). *Newton'sche Mechanik im Anfangsunterricht: Die Wirksamkeit einer Einführung über die zweidimensionale Dynamik auf das Lehren und Lernen*. Berlin: Logos.
- Treagust, D., Won, M. & Duit, R. (2014). Paradigms in Science Education Research. In N. Lederman & S. Abell (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education, Volume II* (S. 3-17). New York: Routledge.
- Trempler, K., Hetmanek, A., Wecker, C., Kiesewetter, J., Wermelt, M., Fischer, F. et al. (2015). Nutzung von Evidenz im Bildungsbereich. Validierung eines Instruments zur Erfassung von Kompetenzen der Informationsauswahl und Bewertung von Studien. *Zeitschrift für Pädagogik (Beiheft)*. (61), 144-166.
- van Dijk, E. M. & Kattmann, U. (2007). A Research Model for the Study of Science Teachers' PCK and Improving Teacher Education. *Teaching and Teacher Education*, 23(6), 885-897.
- van Driel, J., Beijaard, D. & Verloop, N. (2001). Professional Development and Reform in Science Education: The Role of Teachers' Practical Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(2), 137-158.
- Vogelsang, C. (2014). *Validierung eines Instruments zur Erfassung der professionellen Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften: Zusammenhangsanalysen zwischen Lehrerkompetenz und Lehrerperformanz*. Berlin: Logos.
- Vogelsang, C. & Cauet, E. (2017). Wie valide sind Professionswissenstest? Zum Zusammenhang von erfasstem Wissen, Unterrichtshandeln und Unterrichtserfolg. In H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften der Chemie und Physik* (S. 77-96). Berlin: Logos.
- Vollstädt, W., Tillmann, K.-J., Rauin, U., Höhmann, K. & Tebrügge, A. (1999). *Lehrpläne im Schulalltag: Eine empirische Studie zur Akzeptanz und Wirkung von Lehrplänen in der Sekundarstufe I*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Vorndran, A., Keutz, S., Olenik, D., Raimbekova, A. & Rittberger, M. (2014). Social Media als Quelle berufsbezogener Information in der Unterrichtsvorbereitung. In M. Ockenfeld (Hrsg.), *DGI-Konferenz. Informationsqualität und Wissensgenerierung* (S. 85-100). Frankfurt a.M.: Deutsche Gesellschaft für Information und Wissen.
- Vos, M. A. J., Taconis, R., Jochems, W. M. & Pilot, A. (2011). Classroom Implementation of Context-based Chemistry Education by Teachers: The Relation between Experiences of Teachers and the Design of Materials. *International Journal of Science Education*, 33(10), 1407-1432.

- Wahl, D. (1991). *Handeln unter Druck: Der weite Weg vom Wissen zum Handeln bei Lehrern, Hochschullehrern und Erwachsenenbildnern*. Weinheim: Deutscher Studien-Verlag.
- Wahl, D. (2013). *Lernumgebungen erfolgreich gestalten: Vom trägen Wissen zum kompetenten Handeln: Mit Methodensammlung* (3. Auflage). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Weber, K.-A. (2018). *Quantenoptik in der Lehrerfortbildung*. Berlin: Logos.
- Weidl, R. & Wagner, A. (1982). Die Methode des Lauten Denkens. In G. L. Huber & H. Mandl (Hrsg.), *Verbale Daten. Eine Einführung in die Grundlagen und Methoden der Erhebung und Auswertung* (S. 81-103). Weinheim, Basel: Beltz.
- Westbury, I., Hopmann, S. & Riquarts, K. (2015). *Teaching as a Reflective Practice: The German Didaktik Tradition*. New York, London: Routledge.
- Wiater, W. (2003). Das Schulbuch als Gegenstand pädagogischer Forschung. In W. Wiater (Hrsg.), *Beiträge zur historischen und systematischen Schulbuchforschung. Schulbuchforschung in Europa. Bestandsaufnahme und Zukunftsperspektive* (S. 11-21). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Wiater, W. (2005). Lehrplan und Schulbuch. Reflexionen über zwei Instrumente des Staates zur Steuerung des Bildungswesens. In E. Matthes & C. Heinze (Hrsg.), *Das Schulbuch zwischen Lehrplan und Unterrichtspraxis* (S. 41-64). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Wiesner, H. & Müller, R. (1996). Die Ensemble-Interpretation der Quantenmechanik. *Physik in der Schule*, 34, 343-379.
- Wiesner, H., Schecker, H. & Hopf, M. (2011). *Physikdidaktik kompakt* (1. Auflage). Seelze: Aulis Verlag.
- Wiesner, H., Wilhelm, T., Waltner, C., Tobias, V., Rachel, A. & Hopf, M. (2016). *Kraft und Geschwindigkeitsänderung: Neuer fachdidaktischer Zugang zur Mechanik*. Hallbergmoos: Aulis Verlag.
- Wilhelm, T. & Hopf, M. (2014). Design-Forschung. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 31-42). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wilhelm, T. & Schecker, H. (2018). Strategien für den Umgang mit Schülervorstellungen. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (S. 39-61). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wilhelm, T., Tobias, V., Waltner, C., Hopf, M. & Wiesner, H. (2012). Design-Based Research am Beispiel der zweidimensional-dynamischen Mechanik. In S. Bernholt (Hrsg.), *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Oldenburg 2011* (S. 31-47). Münster: Lit.
- Willer, J. (2003). *Didaktik des Physikunterrichts*. Frankfurt a.M.: Deutsch.
- Wirtz, M. & Caspar, F. (2007). *Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität: Methoden zur Bestimmung und Verbesserung der Zuverlässigkeit von Einschätzungen mittels Kategoriensystemen und Ratingskalen*. Göttingen: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- Wissenschaftsrat (2016). *Wissens- und Technologietransfer als Gegenstand institutioneller Strategien: Positionspapier*. Verfügbar unter: www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/5665-16.html [19.10.2020].
- Witzel, A. (1982). *Verfahren der qualitativen Sozialforschung. Überblick und Alternativen*. Frankfurt a.M., New York: Campus-Verlag.
- Witzel, A. & Reiter, H. (2012). *The Problem-Centred Interview*. London: Sage.

- Wodzinski, R. (2007). *Druck als Zustandsgröße in der Sekundarstufe I*. Verfügbar unter: www.physikdidaktik.uni-osnabrueck.de/fileadmin/user_upload/ptd07/ptd2007_vortragsfolien_wodzinski.pdf [20.11.2017].
- Wodzinski, R. & von Aufschnaiter, C. (2014). *Spiralcurriculum Magnetismus: Naturwissenschaftlich arbeiten und denken lernen; ein Curriculum vom Kindergarten bis zur 7. Klasse* (3. Auflage). Seelze: Friedrich.
- Wodzinski, R. & Wilhelm, T. (2018). Schülervorstellungen im Anfangsunterricht. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (S. 243-270). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Zeichner, K. (2005). A Research Agenda for Teacher Education. In M. Cochran-Smith & K. Zeichner (Hrsg.), *Studying Teacher Education. The Report of the AERA Panel on Research and Teacher Education* (S. 761-766). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Anhang

Interviewleitfäden

Leitfaden des Einstiegsinterviews

1) Einstieg

- Begrüßung
- Für die Bereitschaft zur Teilnahme danken
- Um das Einverständnis für die Aufzeichnung des Interviews bitten
- Anonyme Auswertung zusichern
- Ziel der Studie erläutern
- Ablauf des Interviews vorstellen

Einleitungsvorschlag: Vielen Dank, dass Sie sich bereiterklärt haben, an meiner Studie teilzunehmen. Wie ich Ihnen bei unserem ersten Treffen bereits gesagt habe, ist es das Ziel meiner Studie, mehr über die Nutzung von Unterrichtsmaterialien durch Physiklehrkräfte zu erfahren. Dazu habe ich Ihnen ein Unterrichtskonzept zum Thema Quantenphysik gegeben, welches Ihnen als Anregung für Ihre Unterrichtsreihe dienen kann. Mir ist es wichtig, mehr über die Bedürfnisse von Lehrkräften zu erfahren und herauszufinden, welche Elemente aus dem Unterrichtskonzept Sie für hilfreich erachten, aber auch welche Ihnen bei der Unterrichtsvorbereitung nicht weiterhelfen. Dazu frage ich Sie zunächst zu Ihrem allgemeinen Vorgehen bei der Unterrichtsvorbereitung und welche Unterrichtsmaterialien Sie dafür nutzen und komme dann später auf das bereitgestellte Unterrichtskonzept zur Quantenphysik zu sprechen.

1.1 Fragen zum Werdegang

Einleitungsvorschlag: Nun möchte ich zunächst gerne noch mehr über Sie und Ihren Werdegang erfahren.

- Welche Fächer haben Sie studiert?
- Wie viel Unterrichtserfahrung an der Schule haben Sie?
- Haben Sie das Thema Quantenphysik bereits öfter unterrichtet?

1.2 Motivation zur Teilnahme an der Studie

- Warum nehmen Sie an der Studie teil?

1.3 Fragen zu systemischen Faktoren

- Unterrichten Sie einen Grundkurs oder einen Leistungskurs Physik?
- Welches Thema haben Sie vor der Unterrichtsreihe zur Quantenphysik behandelt?
- Wie ist die Beteiligung am Unterricht?
- Haben Sie an der Schule ein schulinternes Curriculum, welches konkrete Vorgaben zum Thema Quantenphysik gibt?

Hinweise zu den Fragen:

- Wenn Lehrkräfte Quereinsteiger sind, werden genauere Angaben zum Studiengang, einer Promotion etc. erfragt.
- Liegt ein schulinterner Lehrplan vor, wird die Lehrperson gebeten, diesen per PDF-Datei oder als Kopie zur Verfügung zu stellen.

2) Hauptteil

2.1 Fragen zu Vorstellungen zum Lehren und Lernen im Physikunterricht

Einleitungsvorschlag: Dann komme ich jetzt zum eigentlichen Teil des Interviews. Zunächst möchte ich Ihnen einige allgemeine Fragen stellen, wie Sie sich als Lehrperson sehen und wie Sie bei der Unterrichtsvorbereitung vorgehen.

- Wie würden Sie Ihren Unterrichtsstil beschreiben?
- Mithilfe welcher Unterrichtsmethoden oder Lehrstrategien kann man Ihrer Meinung nach das Lernen der Schülerinnen und Schüler besonders effektiv unterstützen?
- Welchen Stellenwert haben Experimente für Sie im Physikunterricht?
- Welche Bedeutung hat Ihrer Ansicht nach das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler für das Lernen?
- Inwiefern spielt das Vorwissen eine Rolle für Sie bei der Unterrichtsplanung oder -durchführung?

2.2 Fragen zum Vorgehen bei der Unterrichtsplanung

- Wie würden Sie Ihr eigenes Vorgehen bei der Unterrichtsplanung beschreiben?

-
- Probieren Sie im Unterricht auch gerne neue Ideen aus oder setzen Sie lieber auf bewährte Unterrichtsentwürfe?
 - Wie konkret halten Sie sich in der Regel an Ihre Unterrichtsplanung?

2.3 Fragen zur Nutzung von Unterrichtsmaterialien

- Auf welche Materialien (wie Schulbuch, Lehrplan etc.) greifen Sie typischerweise bei Ihrer Unterrichtsvorbereitung zurück?
- Wie stark orientieren Sie sich bei Ihrer Unterrichtsplanung an eben diesen Materialien (Schulbuch, Lehrplan etc.)?
- Welche Unterrichtsmaterialien haben Sie zur Vorbereitung Ihrer Unterrichtsreihe zur Quantenphysik verwendet?
- Was sind für Sie wichtige Kriterien bei der Entscheidung, ob Sie ein bestimmtes Material bei der Unterrichtsvorbereitung nutzen?
- Prüfen Sie, ob neue Materialien oder Vorschläge schon erprobt wurden?
- Gibt es Materialien, die Sie auch lesen, um selbst etwas Neues zu lernen?

2.4 Fragen zum Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenphysik

Einleitungsvorschlag: Dann komme ich jetzt auf das Unterrichtskonzept zu sprechen, das ich Ihnen als Anregung für Ihre Unterrichtsreihe zur Quantenphysik gegeben habe.

- Kannten Sie das Unterrichtskonzept vorher schon?
- Wie ist Ihr erster Eindruck von Konzept?
- Haben Sie den Ordner, die DVD oder die Website genutzt?

2.5 Fragen zu Vorstellungen zum Lehren und Lernen von Quantenphysik

Einleitungsvorschlag: Im Folgenden werde ich nun Fragen zum Thema Quantenphysik stellen.

- Unterrichten Sie gerne das Thema Quantenmechanik?
- Wie sicher fühlen Sie sich beim Unterrichten von Quantenphysik?
- Wie groß ist Ihr persönliches Interesse an Quantenphysik?
- Wie sicher fühlen Sie sich beim Unterrichten von Quantenphysik?
- Welche Aspekte der Quantenphysik halten Sie für den Physikunterricht für besonders wichtig?
- Wo sehen Sie besondere Lernschwierigkeiten bei einer Unterrichtsreihe zur Quantenphysik?
- Finden Sie, die mathematische Betrachtung quantenmechanischer Phänomene sollte Bestandteil des Schulunterrichts sein?

Hinweise zu den Fragen:

- Bei der Erhebung der Vorstellungen zum Lehren und Lernen unter Punkt 2.1 werden Items bzw. Fragestellungen von Labudde (2000), Fischler (2000a), Kleickmann (2008) und Tänzer (2017) als Orientierung verwendet.
- Unter Punkt 2.2 und 2.3 werden Fragen zu verschiedenen Nutzungstypen in Anlehnung an die Ergebnisse einer vorausgehenden Interviewstudie (Breuer, Vogelsang & Reinhold, 2018) und orientiert an den Persönlichkeitsmerkmalen der *Big Five* gestellt (Goldberg, 1981; vgl. Michie et al., 2005). Hierzu werden auch von Tänzer (2011) entwickelte Fragestellungen als Formulierungshilfe herangezogen. Dabei wird absichtlich nach Unterrichtsmaterialien für die Nutzung durch Schüler*innen als auch durch die Lehrperson gefragt – in Anlehnung an die Unterscheidung von *curriculum materials* und *educative curriculum materials* (vgl. Abschnitt 3.3.1). Da die Materialnutzung kontextspezifisch sein könnte, wird sowohl allgemein als auch inhaltsbezogen nach den verwendeten Materialien gefragt.
- Für die Erhebung von 2.5 Vorstellungen zum Lehren und Lernen von Quantenphysik (insbesondere zu Lernschwierigkeiten) wird die Arbeit von Müller (2003) als Orientierungshilfe genutzt. Die Selbstwirksamkeitserwartungen zum Unterrichten treten nach Pajares (1992), Bandura (1997) sowie Neumann und Kremer (2013) vermutlich kontextspezifisch auf und werden daher explizit zum Unterrichten von Quantenphysik abgefragt (vgl. Abschnitt 2.2.4).

3) Schluss

Einleitungsvorschlag: Damit bin ich mit meinen Fragen fertig. Ich fasse nochmal kurz zusammen, was Sie über das Unterrichtskonzept gesagt haben, um sicherzustellen, dass ich das auch richtig verstanden habe.

- Zusammenfassung durch die Interviewerin
- Möchten Sie noch etwas zu den besprochenen Themen ergänzen?

Abschlussformulierung: Dann möchte ich mich nochmal ganz herzlich bei Ihnen für das Gespräch bedanken! Wenn Sie jetzt nichts weiteres zu ergänzen haben, sind wir hiermit am Ende des Interviews.

Allgemeine Fragen bzw. Redeimpulse:

- Können Sie dazu ein Beispiel geben?
- Können Sie das genauer erläutern?
- Was genau meinen Sie damit?

-
- Und wie stehen Sie dazu?
 - Können Sie genauer sagen, was Ihnen daran (nicht) gut gefällt?

Leitfaden des Stimulated-Recall-Interviews

1) Einstieg

- Begrüßung
- Um das Einverständnis für die Aufzeichnung des Interviews bitten
- Anonyme Auswertung zusichern
- Ablauf des Interviews vorstellen

1.1 Rückblick auf die Unterrichtsstunde

Einleitungsvorschlag: Sie haben bei der Hospitation Unterricht zum Thema Photoeffekt als Einstieg in die Quantenphysik gemacht. Erinnern wir uns kurz zurück. Dazu stelle ich Ihnen nochmal kurz anhand meiner Mitschrift den Ablauf der Unterrichtsstunde vor.

- Habe ich das so korrekt wiedergegeben?

1.2 Authentizität der Unterrichtsstunde

- Würden Sie sagen, dass sich die Schülerinnen und Schüler anders verhalten haben als im sonstigen Unterricht oder handelte es sich um eine typische Unterrichtsstunde?

1.3 Unterrichtsplanung

- Welche Gedanken hatten Sie bei der Stundenplanung?
- Welche Ziele wollten Sie in der Stunde erreichen?
- Auf welche Unterrichtsmaterialien haben Sie während der Unterrichtsplanung zurückgegriffen?

Hinweise zu den Fragen:

- Da häufig mehrere Unterrichtsstunden zwischen der Unterrichtsbeobachtung und dem *stimulated recall* liegen, verdeutlicht die Interviewerin zu Beginn, welche Unterrichtsstunde nachbesprochen wird. Wenn sich die Lehrperson auf weitere Unterrichtsstunden bezieht, wird dies zugelassen. Im Anschluss wird sie jedoch wieder auf die Besprechung der beobachteten Stunde geleitet.

2) Hauptteil

Einleitungsvorschlag: Ich möchte nun im Folgenden einige Unterrichtssituationen mit Ihnen genauer besprechen. Dazu zeige ich Ihnen nun nacheinander Videoausschnitte von drei Unterrichtssituationen.

2.1 Besprechung von Unterrichtssituation 1: Einstieg

- Möchten Sie den Unterrichtsausschnitt kommentieren?
- Was war Ihnen beim Unterrichtseinstieg wichtig?

2.2 Besprechung von Unterrichtssituation 2: Nachbereitung eines Experiments

- Möchten Sie den Unterrichtsausschnitt kommentieren?
- Welche Ziele haben Sie in dieser Unterrichtssituation verfolgt?
- Was wollten Sie durch den Versuch verdeutlichen?

2.3 Besprechung der eingesetzten Unterrichtsmaterialien

Einleitungsvorschlag: Sie haben ein Arbeitsblatt aus dem bereitgestellten Ordner verwendet.

- Warum haben Sie sich dafür entschieden?
- Welches Ziel haben Sie damit verfolgt?
- Würden Sie das Arbeitsblatt beim nächsten Durchlauf wiederverwenden?

Hinweise zu den Fragen:

- Nach dem Betrachten der Videoprompts wird der Lehrperson zunächst Freiraum gelassen, offen über das zu reden, was ihr als erstes in den Sinn kommt. Danach wird die befragte Lehrperson durch gezielte Fragestellungen angeregt, die Unterrichtssituation zu reflektieren.
- Zu den Unterrichtssituationen werden einerseits festgelegte Standardfragen und andererseits situationspezifische Fragen gestellt.

3) Schluss

3.1 Begründung der Wahl der Sozialformen

Einleitungsvorschlag: Sie haben unterschiedliche Sozialformen wie Klassengespräch, Lehrervortrag und Einzelarbeit während der Unterrichtsstunde gewählt.

- Warum haben Sie sich für diese verschiedenen Sozialformen entschieden?

3.2 Nutzung des bereitgestellten Unterrichtskonzepts

- Haben Sie (weitere) Elemente des bereitgestellten Unterrichtskonzepts für die Planung dieser Stunde verwendet?
- Warum haben Sie sich für bzw. gegen die Nutzung von MILQ entschieden?

3.3 Möglichkeit für Ergänzungen durch die Lehrperson

- Möchten Sie noch etwas zur Unterrichtsstunde ergänzen?

Abschlussformulierung: Dann möchte ich mich nochmal ganz herzlich bei Ihnen für das Gespräch bedanken! Wenn Sie jetzt nichts weiteres zu ergänzen haben, sind wir hiermit am Ende des Interviews. **Allgemeine Fragen bzw. Redeimpulse:**

- Können Sie dazu ein Beispiel geben?
- Können Sie das genauer erläutern?
- Was genau meinen Sie damit?
- Und wie stehen Sie dazu?
- Können Sie genauer sagen, was Ihnen daran (nicht) gut gefällt?

Leitfaden des Abschlussinterviews

1) Einstieg

- Begrüßung
- Für die Bereitschaft zur Teilnahme danken
- Um das Einverständnis für die Aufnahme bitten
- Anonyme Auswertung zusichern
- Ablauf des Interviews vorstellen

Einleitungsvorschlag: Sie haben jetzt die Unterrichtsreihe zum Thema Quantenphysik abgeschlossen. Erinnern wir uns kurz zurück.

1.1 Umfang der Unterrichtsreihe

- Wie viele Unterrichtsstunden umfasst die gesamte Reihe?

1.2 Zufriedenheit mit der Unterrichtsreihe

- Wie schätzen Sie die Unterrichtsreihe nach der Durchführung ein?
- Was ist gelungen, was ist vielleicht weniger gelungen?

Hinweise zu den Fragen:

- Zu Punkt 1.1 bietet es sich an, die Lehrperson im Vorfeld zu bitten, das Kursbuch mit ins Interview zu nehmen. Im Rahmen der Pilotierung wurde deutlich, dass andernfalls sich teilweise die Lehrpersonen auf Anhieb nicht an Details der Unterrichtsreihe erinnern konnten.

2) Hauptteil

2.1 Vorgehen bei der Unterrichtsreihe

- Wenn Sie zurückblicken, wie sind Sie bei der Gestaltung der Unterrichtsreihe vorgegangen?
- Was war Ihnen bei der Unterrichtsplanung für diese Unterrichtsreihe wichtig?
- An welchen Stellen sind Sie von Ihrer Planung abgewichen und warum?

Einleitungsvorschlag zur Nachverfolgung der Themenabfolge: Sehe ich das richtig, dass Sie in der folgenden Reihenfolge der Inhalte vorgegangen sind: Hallwachs-Versuch, Gegenfeldmethode, Impuls von Photonen, Elektronenbeugungsröhre, De-Broglie-Wellenlänge von Elektronen und Wahrscheinlichkeitsvorhersagen für Quantenobjekte?

2.2 Konfrontation mit zuvor geäußerten Intentionen

Beispielfragen:

- Sie haben sich im Unterricht Zeit genommen, auch historische Hintergründe wie bspw. die Doktorarbeit von Prince De Broglie oder die Biographie Albert Einsteins zu besprechen. Dabei haben Sie angegeben, dass für Sie Zeiteffizienz und zielführendes Handeln besonders wichtig sind. Warum haben Sie sich dennoch Zeit für diese historische Aspekte genommen?
- Sie haben zu Beginn der Unterrichtsreihe angegeben, dass Sie planen, mit Elektronen als Quantenobjekte zu beginnen. Wenn ich das richtig sehe, haben Sie jedoch mit Photonen begonnen. Warum haben Sie sich umentschieden?

2.3 Nutzung und Implementation von Unterrichtsmaterialien während der Reihe

- Was ist Ihre Einschätzung von dem bereitgestellten Materialordner?
- Wenn wir nochmal in den Ordner schauen, welche Elemente finden Sie hilfreich, welche eher weniger hilfreich?
- Würden Sie sagen, dass das Unterrichtskonzept Ihre Unterrichtsreihe beeinflusst hat?
- Haben Sie neue Ideen und Herangehensweise im Unterrichtskonzept kennengelernt?

-
- Was glauben Sie, welche Ziele das Unterrichtskonzept verfolgt? Können Sie sich damit identifizieren?
 - Auf welche weiteren Materialien haben Sie bei der Planung der Unterrichtsreihe zurückgegriffen und wofür?

2.4 Einstellungen zur Quantenmechanik

Einleitungsvorschlag: Abschließend werde ich nun Fragen zum Thema Quantenphysik stellen, bevor ich zum Schlussteil übergehe. Einige der Fragen habe ich Ihnen bereits im ersten Interview gestellt, weshalb diese Ihnen bekannt vorkommen könnten. Ich würde gerne wissen, ob sich das für Sie während der Unterrichtsreihe geändert hat.

- Würden Sie sagen, Sie haben das Thema Quantenphysik gerne unterrichtet?
- Wie sicher fühlen Sie sich für das Unterrichten von Quantenphysik?
- Welche Aspekte aus der Quantenphysik finden Sie für den Physikunterricht wichtig?
- Wo sehen Sie besondere Lernschwierigkeiten beim Thema Quantenphysik?
- Finden Sie, die mathematische Betrachtung quantenmechanischer Phänomene sollte Bestandteil des Schulunterrichts sein?

Hinweise zu den Fragen:

- Die konfrontativen Fragen werden für jeden Probanden individuell nach einer Analyse der vorangehenden Interviews erstellt.
- Die Akzeptanz in Punkt 2.3 wird in Orientierung an Vollstädt et al. (1999) erfragt (vgl. Michie et al., 2005): Brauchbarkeit, Realisierbarkeit und Freiraum.
- Der bereitgestellte Materialordner wird als Stimulus mit ins Abschlussinterview genommen.
- Die Fragen von Punkt 2.4 werden aus dem Einstiegsinterview übernommen.

3) Schluss

3.1 Konsequenzen oder Modifikationen für den nächsten Durchgang

- Würden Sie das Materialpaket wiederverwenden?
- Was würden Sie an Ihrem Vorgehen beim nächsten Durchlauf ändern bzw. beibehalten?
- War die Nutzung des Konzepts für Sie eine zusätzliche Belastung?
- Verändert sich etwas für Sie durch unsere Gespräche oder die Unterrichtsvideos?

3.2 Wünsche für weitere Unterstützungsmaßnahmen

- Was hätten Sie sich an weiteren Unterstützungsmaßnahmen gewünscht?

3.3 Möglichkeiten für Ergänzungen der Lehrkraft

- Haben Sie noch Ergänzungen?

Abschlussvorschlag: Damit bin ich am Ende meiner Fragen angekommen. Ich bedanke mich ganz herzlich bei Ihnen für die Teilnahme an meiner Studie, für Ihre Offenheit in unseren Gesprächen und dass Sie sich die zusätzliche Zeit dafür genommen haben! Wenn Sie Interesse an den Erkenntnissen meiner Studie sind, halte ich Sie gerne auf dem Laufenden. Haben Sie noch Fragen an mich oder zur Studie?

Allgemeine Fragen bzw. Redeimpulse:

- Können Sie dazu ein Beispiel geben?
- Können Sie das genauer erläutern?
- Was genau meinen Sie damit?
- Und wie stehen Sie dazu?
- Können Sie genauer sagen, was Ihnen daran (nicht) gut gefällt?

Transkriptionsregeln

Die Transkriptionsregeln sind an Dresing und Pehl (2015, 20ff.) und Kuckartz (2018, 167f.) orientiert.

- Wörtliche Transkription auf Hochdeutsch
- Glätten von Satzabbrüchen oder Stottern
- Kein Festhalten von Wortverschleifungen
- Zeitmarken nach jedem Absatz

Als Absatz gilt die Antwort einer befragten Lehrperson auf eine Frage oder Nachfrage der Interviewerin. Antworten mit einer Dauer von über zwei Minuten werden in einzelne Sinnabschnitte aufgeteilt. Wenn beide Personen gleichzeitig reden, die Interviewerin aber nur gesprächserhaltende Impulse wie „Ich verstehe“ äußert, wird kein neuer Absatz angefangen. Stattdessen werden solche Situationen wie folgt festgehalten:

B: Aber dann kriegen wir keine Interferenzbildung. // I: Nein, genau. // Und das ist so ein Prozess.

Wenn beide Personen gleichzeitig reden, die Interviewerin aber nur durch

Lautäußerungen wie „Ja“ oder „Hm“ zeigt, dass sie aufmerksam zu hört, können diese im Transkript weggelassen werden, wenn dies die Lesbarkeit erhöht.

- Kennzeichnen unverständlicher Stellen durch: (unverständlich)
- Kennzeichnen schlecht verständlicher Stellen durch: (Quantenphysik?)
- Kennzeichnen von Pausen über drei Sekunden durch: (...)
- Beibehalten syntaktischer Fehler
- Kennzeichnen unterbrochener Äußerungen: „*Das habe ich auch so gema/ verwendet.*“
- Festhalten von Lautäußerungen durch: „eh“, „ehm“ oder „hm“
Lautäußerungen werden nicht weiter als die gegebenen Beispiele ausdifferenziert. Falls sie als Verneinung oder Zustimmung verwendet werden und dies nicht aus dem Kontext hervorgeht, wird zusätzlich als Kommentar in eckigen Klammern „verneinend“ oder „bejahend“ hinzugefügt: *Hm [bejahend]*.
- Einfügen von Kommentaren in eckigen Klammern
Kommentare werden eingefügt, um bspw. Lachen oder Störungen festzuhalten.
- Kennzeichnung besonders betonter Wörter durch Großbuchstaben
B: Das war wirklich SCHRECKLICH.

Bisher erschienene Bände der Reihe „*Studien zum Physik- und Chemielernen*“

ISSN 1614-8967 (vormals *Studien zum Physiklernen* ISSN 1435-5280)

- 1 Helmut Fischler, Jochen Peuckert (Hrsg.): Concept Mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie
ISBN 978-3-89722-256-4 40.50 EUR
- 2 Anja Schoster: Bedeutungsentwicklungsprozesse beim Lösen algorithmischer Physikaufgaben. *Eine Fallstudie zu Lernprozessen von Schülern im Physiknachhilfeunterricht während der Bearbeitung algorithmischer Physikaufgaben*
ISBN 978-3-89722-045-4 40.50 EUR
- 3 Claudia von Aufschnaiter: Bedeutungsentwicklungen, Interaktionen und situatives Erleben beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben
ISBN 978-3-89722-143-7 40.50 EUR
- 4 Susanne Haerberlen: Lernprozesse im Unterricht mit Wasserstromkreisen. *Eine Fallstudie in der Sekundarstufe I*
ISBN 978-3-89722-172-7 40.50 EUR
- 5 Kerstin Haller: Über den Zusammenhang von Handlungen und Zielen. *Eine empirische Untersuchung zu Lernprozessen im physikalischen Praktikum*
ISBN 978-3-89722-242-7 40.50 EUR
- 6 Michaela Horstendahl: Motivationale Orientierungen im Physikunterricht
ISBN 978-3-89722-227-4 50.00 EUR
- 7 Stefan Deylitz: Lernergebnisse in der Quanten-Atomphysik. *Evaluation des Bremer Unterrichtskonzepts*
ISBN 978-3-89722-291-5 40.50 EUR
- 8 Lorenz Hucke: Handlungsregulation und Wissenserwerb in traditionellen und computergestützten Experimenten des physikalischen Praktikums
ISBN 978-3-89722-316-5 50.00 EUR
- 9 Heike Theyßen: Ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin. *Darstellung der Entwicklung und Evaluation eines adressatenspezifischen Praktikums nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion*
ISBN 978-3-89722-334-9 40.50 EUR
- 10 Annette Schick: Der Einfluß von Interesse und anderen selbstbezogenen Kognitionen auf Handlungen im Physikunterricht. *Fallstudien zu Interessenhandlungen im Physikunterricht*
ISBN 978-3-89722-380-6 40.50 EUR
- 11 Roland Berger: Moderne bildgebende Verfahren der medizinischen Diagnostik. *Ein Weg zu interessanterem Physikunterricht*
ISBN 978-3-89722-445-2 40.50 EUR

- 12 Johannes Werner: Vom Licht zum Atom. *Ein Unterrichtskonzept zur Quantenphysik unter Nutzung des Zeigermodells*
ISBN 978-3-89722-471-1 40.50 EUR
- 13 Florian Sander: Verbindung von Theorie und Experiment im physikalischen Praktikum. *Eine empirische Untersuchung zum handlungsbezogenen Vorverständnis und dem Einsatz grafikorientierter Modellbildung im Praktikum*
ISBN 978-3-89722-482-7 40.50 EUR
- 14 Jörn Gerdes: Der Begriff der physikalischen Kompetenz. *Zur Validierung eines Konstruktes*
ISBN 978-3-89722-510-7 40.50 EUR
- 15 Malte Meyer-Arndt: Interaktionen im Physikpraktikum zwischen Studierenden und Betreuern. *Feldstudie zu Bedeutungsentwicklungsprozessen im physikalischen Praktikum*
ISBN 978-3-89722-541-1 40.50 EUR
- 16 Dietmar Höttecke: Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen. *Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen*
ISBN 978-3-89722-607-4 40.50 EUR
- 17 Gil Gabriel Mavanga: Entwicklung und Evaluation eines experimentell- und phänomenorientierten Optikcurriculums. *Untersuchung zu Schülervorstellungen in der Sekundarstufe I in Mosambik und Deutschland*
ISBN 978-3-89722-721-7 40.50 EUR
- 18 Meike Ute Zastrow: Interaktive Experimentieranleitungen. *Entwicklung und Evaluation eines Konzeptes zur Vorbereitung auf das Experimentieren mit Messgeräten im Physikalischen Praktikum*
ISBN 978-3-89722-802-3 40.50 EUR
- 19 Gunnar Friege: Wissen und Problemlösen. *Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs*
ISBN 978-3-89722-809-2 40.50 EUR
- 20 Erich Starauschek: Physikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs. *Ergebnisse einer Evaluationsstudie*
ISBN 978-3-89722-823-8 40.50 EUR
- 21 Roland Paatz: Charakteristika analogiebasierten Denkens. *Vergleich von Lernprozessen in Basis- und Zielbereich*
ISBN 978-3-89722-944-0 40.50 EUR
- 22 Silke Mikelskis-Seifert: Die Entwicklung von Metakzepten zur Teilchenvorstellung bei Schülern. *Untersuchung eines Unterrichts über Modelle mithilfe eines Systems multipler Repräsentationsebenen*
ISBN 978-3-8325-0013-9 40.50 EUR
- 23 Brunhild Landwehr: Distanzen von Lehrkräften und Studierenden des Sachunterrichts zur Physik. *Eine qualitativ-empirische Studie zu den Ursachen*
ISBN 978-3-8325-0044-3 40.50 EUR

- 24 Lydia Murmann: Physiklernen zu Licht, Schatten und Sehen. *Eine phänomenografische Untersuchung in der Primarstufe*
ISBN 978-3-8325-0060-3 40.50 EUR
- 25 Thorsten Bell: Strukturprinzipien der Selbstregulation. *Komplexe Systeme, Elementarisierungen und Lernprozessstudien für den Unterricht der Sekundarstufe II*
ISBN 978-3-8325-0134-1 40.50 EUR
- 26 Rainer Müller: Quantenphysik in der Schule
ISBN 978-3-8325-0186-0 40.50 EUR
- 27 Jutta Roth: Bedeutungsentwicklungsprozesse von Physikerinnen und Physikern in den Dimensionen Komplexität, Zeit und Inhalt
ISBN 978-3-8325-0183-9 40.50 EUR
- 28 Andreas Saniter: Spezifika der Verhaltensmuster fortgeschrittener Studierender der Physik
ISBN 978-3-8325-0292-8 40.50 EUR
- 29 Thomas Weber: Kumulatives Lernen im Physikunterricht. *Eine vergleichende Untersuchung in Unterrichtsgängen zur geometrischen Optik*
ISBN 978-3-8325-0316-1 40.50 EUR
- 30 Markus Rehm: Über die Chancen und Grenzen moralischer Erziehung im naturwissenschaftlichen Unterricht
ISBN 978-3-8325-0368-0 40.50 EUR
- 31 Marion Budde: Lernwirkungen in der Quanten-Atom-Physik. *Fallstudien über Resonanzen zwischen Lernangeboten und SchülerInnen-Vorstellungen*
ISBN 978-3-8325-0483-0 40.50 EUR
- 32 Thomas Reyer: Oberflächenmerkmale und Tiefenstrukturen im Unterricht. *Exemplarische Analysen im Physikunterricht der gymnasialen Sekundarstufe*
ISBN 978-3-8325-0488-5 40.50 EUR
- 33 Christoph Thomas Müller: Subjektive Theorien und handlungsleitende Kognitionen von Lehrern als Determinanten schulischer Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-0543-1 40.50 EUR
- 34 Gabriela Jonas-Ahrend: Physiklehrvorstellungen zum Experiment im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-0576-9 40.50 EUR
- 35 Dimitrios Stavrou: Das Zusammenspiel von Zufall und Gesetzmäßigkeiten in der nicht-linearen Dynamik. *Didaktische Analyse und Lernprozesse*
ISBN 978-3-8325-0609-4 40.50 EUR
- 36 Katrin Engeln: Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken
ISBN 978-3-8325-0689-6 40.50 EUR
- 37 Susann Hartmann: Erklärungsvielfalt
ISBN 978-3-8325-0730-5 40.50 EUR

- 38 Knut Neumann: Didaktische Rekonstruktion eines physikalischen Praktikums für Physiker
ISBN 978-3-8325-0762-6 40.50 EUR
- 39 Michael Späth: Kontextbedingungen für Physikunterricht an der Hauptschule. *Möglichkeiten und Ansatzpunkte für einen fachübergreifenden, handlungsorientierten und berufsorientierten Unterricht*
ISBN 978-3-8325-0827-2 40.50 EUR
- 40 Jörg Hirsch: Interesse, Handlungen und situatives Erleben von Schülerinnen und Schülern beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben
ISBN 978-3-8325-0875-3 40.50 EUR
- 41 Monika Hüther: Evaluation einer hypermedialen Lernumgebung zum Thema Gasgesetze. *Eine Studie im Rahmen des Physikpraktikums für Studierende der Medizin*
ISBN 978-3-8325-0911-8 40.50 EUR
- 42 Maike Tesch: Das Experiment im Physikunterricht. *Didaktische Konzepte und Ergebnisse einer Videostudie*
ISBN 978-3-8325-0975-0 40.50 EUR
- 43 Nina Nicolai: Skriptgeleitete Eltern-Kind-Interaktion bei Chemiehausaufgaben. *Eine Evaluationsstudie im Themenbereich Säure-Base*
ISBN 978-3-8325-1013-8 40.50 EUR
- 44 Antje Leisner: Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-1020-6 40.50 EUR
- 45 Stefan Rumann: Evaluation einer Interventionsstudie zur Säure-Base-Thematik
ISBN 978-3-8325-1027-5 40.50 EUR
- 46 Thomas Wilhelm: Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung – mit CD-ROM
ISBN 978-3-8325-1046-6 45.50 EUR
- 47 Andrea Maier-Richter: Computerunterstütztes Lernen mit Lösungsbeispielen in der Chemie. *Eine Evaluationsstudie im Themenbereich Löslichkeit*
ISBN 978-3-8325-1046-6 40.50 EUR
- 48 Jochen Peuckert: Stabilität und Ausprägung kognitiver Strukturen zum Atombegriff
ISBN 978-3-8325-1104-3 40.50 EUR
- 49 Maik Walpuski: Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback
ISBN 978-3-8325-1184-5 40.50 EUR
- 50 Helmut Fischler, Christiane S. Reiners (Hrsg.): Die Teilchenstruktur der Materie im Physik- und Chemieunterricht
ISBN 978-3-8325-1225-5 34.90 EUR
- 51 Claudia Eysel: Interdisziplinäres Lehren und Lernen in der Lehrerbildung. *Eine empirische Studie zum Kompetenzerwerb in einer komplexen Lernumgebung*
ISBN 978-3-8325-1238-5 40.50 EUR

- 52 Johannes Günther: Lehrerfortbildung über die Natur der Naturwissenschaften. *Studien über das Wissenschaftsverständnis von Grundschullehrkräften*
ISBN 978-3-8325-1287-3 40.50 EUR
- 53 Christoph Neugebauer: Lernen mit Simulationen und der Einfluss auf das Problemlösen in der Physik
ISBN 978-3-8325-1300-9 40.50 EUR
- 54 Andreas Schnirch: Gendergerechte Interessen- und Motivationsförderung im Kontext naturwissenschaftlicher Grundbildung. *Konzeption, Entwicklung und Evaluation einer multimedial unterstützten Lernumgebung*
ISBN 978-3-8325-1334-4 40.50 EUR
- 55 Hilde Köster: Freies Explorieren und Experimentieren. *Eine Untersuchung zur selbstbestimmten Gewinnung von Erfahrungen mit physikalischen Phänomenen im Sachunterricht*
ISBN 978-3-8325-1348-1 40.50 EUR
- 56 Eva Heran-Dörr: Entwicklung und Evaluation einer Lehrerfortbildung zur Förderung der physikdidaktischen Kompetenz von Sachunterrichtslehrkräften
ISBN 978-3-8325-1377-1 40.50 EUR
- 57 Agnes Szabone Varnai: Unterstützung des Problemlösens in Physik durch den Einsatz von Simulationen und die Vorgabe eines strukturierten Kooperationsformats
ISBN 978-3-8325-1403-7 40.50 EUR
- 58 Johannes Rethfeld: Aufgabenbasierte Lernprozesse in selbstorganisationsoffenem Unterricht der Sekundarstufe I zum Themengebiet ELEKTROSTATIK. *Eine Feldstudie in vier 10. Klassen zu einer kartenbasierten Lernumgebung mit Aufgaben aus der Elektrostatik*
ISBN 978-3-8325-1416-7 40.50 EUR
- 59 Christian Henke: Experimentell-naturwissenschaftliche Arbeitsweisen in der Oberstufe. *Untersuchung am Beispiel des HIGHSEA-Projekts in Bremerhaven*
ISBN 978-3-8325-1515-7 40.50 EUR
- 60 Lutz Kasper: Diskursiv-narrative Elemente für den Physikunterricht. *Entwicklung und Evaluation einer multimedialen Lernumgebung zum Erdmagnetismus*
ISBN 978-3-8325-1537-9 40.50 EUR
- 61 Thorid Rabe: Textgestaltung und Aufforderung zu Selbsterklärungen beim Physiklernen mit Multimedia
ISBN 978-3-8325-1539-3 40.50 EUR
- 62 Ina Glemnitz: Vertikale Vernetzung im Chemieunterricht. *Ein Vergleich von traditionellem Unterricht mit Unterricht nach Chemie im Kontext*
ISBN 978-3-8325-1628-4 40.50 EUR
- 63 Erik Einhaus: Schülerkompetenzen im Bereich Wärmelehre. *Entwicklung eines Testinstruments zur Überprüfung und Weiterentwicklung eines normativen Modells fachbezogener Kompetenzen*
ISBN 978-3-8325-1630-7 40.50 EUR

- 64 Jasmin Neuroth: Concept Mapping als Lernstrategie. *Eine Interventionsstudie zum Chemielernen aus Texten*
ISBN 978-3-8325-1659-8 40.50 EUR
- 65 Hans Gerd Hegeler-Burkhart: Zur Kommunikation von Hauptschülerinnen und Hauptschülern in einem handlungsorientierten und fächerübergreifenden Unterricht mit physikalischen und technischen Inhalten
ISBN 978-3-8325-1667-3 40.50 EUR
- 66 Karsten Rincke: Sprachentwicklung und Fachlernen im Mechanikunterricht. *Sprache und Kommunikation bei der Einführung in den Kraftbegriff*
ISBN 978-3-8325-1699-4 40.50 EUR
- 67 Nina Strehle: Das Ion im Chemieunterricht. *Alternative Schülervorstellungen und curriculare Konsequenzen*
ISBN 978-3-8325-1710-6 40.50 EUR
- 68 Martin Hopf: Problemorientierte Schülerexperimente
ISBN 978-3-8325-1711-3 40.50 EUR
- 69 Anne Beerenwinkel: Fostering conceptual change in chemistry classes using expository texts
ISBN 978-3-8325-1721-2 40.50 EUR
- 70 Roland Berger: Das Gruppenpuzzle im Physikunterricht der Sekundarstufe II. *Eine empirische Untersuchung auf der Grundlage der Selbstbestimmungstheorie der Motivation*
ISBN 978-3-8325-1732-8 40.50 EUR
- 71 Giuseppe Colicchia: Physikunterricht im Kontext von Medizin und Biologie. *Entwicklung und Erprobung von Unterrichtseinheiten*
ISBN 978-3-8325-1746-5 40.50 EUR
- 72 Sandra Winheller: Geschlechtsspezifische Auswirkungen der Lehrer-Schüler-Interaktion im Chemieanfangsunterricht
ISBN 978-3-8325-1757-1 40.50 EUR
- 73 Isabel Wahser: Training von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-1815-8 40.50 EUR
- 74 Claus Brell: Lernmedien und Lernerfolg - reale und virtuelle Materialien im Physikunterricht. *Empirische Untersuchungen in achten Klassen an Gymnasien (Laborstudie) zum Computereinsatz mit Simulation und IBE*
ISBN 978-3-8325-1829-5 40.50 EUR
- 75 Rainer Wackermann: Überprüfung der Wirksamkeit eines Basismodell-Trainings für Physiklehrer
ISBN 978-3-8325-1882-0 40.50 EUR
- 76 Oliver Tepner: Effektivität von Aufgaben im Chemieunterricht der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-1919-3 40.50 EUR

- 77 Claudia Geyer: Museums- und Science-Center-Besuche im naturwissenschaftlichen Unterricht aus einer motivationalen Perspektive. *Die Sicht von Lehrkräften und Schülerinnen und Schülern*
ISBN 978-3-8325-1922-3 40.50 EUR
- 78 Tobias Leonhard: Professionalisierung in der Lehrerbildung. *Eine explorative Studie zur Entwicklung professioneller Kompetenzen in der Lehrererstausbildung*
ISBN 978-3-8325-1924-7 40.50 EUR
- 79 Alexander Kauertz: Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben
ISBN 978-3-8325-1925-4 40.50 EUR
- 80 Regina Hübinger: Schüler auf Weltreise. *Entwicklung und Evaluation von Lehr-/Lernmaterialien zur Förderung experimentell-naturwissenschaftlicher Kompetenzen für die Jahrgangsstufen 5 und 6*
ISBN 978-3-8325-1932-2 40.50 EUR
- 81 Christine Waltner: Physik lernen im Deutschen Museum
ISBN 978-3-8325-1933-9 40.50 EUR
- 82 Torsten Fischer: Handlungsmuster von Physiklehrkräften beim Einsatz neuer Medien. *Fallstudien zur Unterrichtspraxis*
ISBN 978-3-8325-1948-3 42.00 EUR
- 83 Corinna Kieren: Chemiehausaufgaben in der Sekundarstufe I des Gymnasiums. *Fragebogenerhebung zur gegenwärtigen Praxis und Entwicklung eines optimierten Hausaufgabendesigns im Themenbereich Säure-Base*
978-3-8325-1975-9 37.00 EUR
- 84 Marco Thiele: Modelle der Thermohalinen Zirkulation im Unterricht. *Eine empirische Studie zur Förderung des Modellverständnisses*
ISBN 978-3-8325-1982-7 40.50 EUR
- 85 Bernd Zinn: Physik lernen, um Physik zu lehren. *Eine Möglichkeit für interessanteren Physikunterricht*
ISBN 978-3-8325-1995-7 39.50 EUR
- 86 Esther Klaes: Außerschulische Lernorte im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Die Perspektive der Lehrkraft*
ISBN 978-3-8325-2006-9 43.00 EUR
- 87 Marita Schmidt: Kompetenzmodellierung und -diagnostik im Themengebiet Energie der Sekundarstufe I. *Entwicklung und Erprobung eines Testinventars*
ISBN 978-3-8325-2024-3 37.00 EUR
- 88 Gudrun Franke-Braun: Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. *Ein Aufgabenformat zur Förderung der sachbezogenen Kommunikation und Lernleistung für den naturwissenschaftlichen Unterricht*
ISBN 978-3-8325-2026-7 38.00 EUR
- 89 Silke Klos: Kompetenzförderung im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht. *Der Einfluss eines integrierten Unterrichtskonzepts*
ISBN 978-3-8325-2133-2 37.00 EUR

- 90 Ulrike Elisabeth Burkard: Quantenphysik in der Schule. *Bestandsaufnahme, Perspektiven und Weiterentwicklungsmöglichkeiten durch die Implementation eines Medienservers*
ISBN 978-3-8325-2215-5 43.00 EUR
- 91 Ulrike Gromadecki: Argumente in physikalischen Kontexten. *Welche Geltungsgründe halten Physikanfänger für überzeugend?*
ISBN 978-3-8325-2250-6 41.50 EUR
- 92 Jürgen Bruns: Auf dem Weg zur Förderung naturwissenschaftsspezifischer Vorstellungen von zukünftigen Chemie-Lehrenden
ISBN 978-3-8325-2257-5 43.50 EUR
- 93 Cornelius Marsch: Räumliche Atomvorstellung. *Entwicklung und Erprobung eines Unterrichtskonzeptes mit Hilfe des Computers*
ISBN 978-3-8325-2293-3 82.50 EUR
- 94 Maja Brückmann: Sachstrukturen im Physikunterricht. *Ergebnisse einer Videostudie*
ISBN 978-3-8325-2272-8 39.50 EUR
- 95 Sabine Fechner: Effects of Context-oriented Learning on Student Interest and Achievement in Chemistry Education
ISBN 978-3-8325-2343-5 36.50 EUR
- 96 Clemens Nagel: eLearning im Physikalischen Anfängerpraktikum
ISBN 978-3-8325-2355-8 39.50 EUR
- 97 Josef Riese: Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften
ISBN 978-3-8325-2376-3 39.00 EUR
- 98 Sascha Bernholt: Kompetenzmodellierung in der Chemie. *Theoretische und empirische Reflexion am Beispiel des Modells hierarchischer Komplexität*
ISBN 978-3-8325-2447-0 40.00 EUR
- 99 Holger Christoph Stawitz: Auswirkung unterschiedlicher Aufgabenprofile auf die Schülerleistung. *Vergleich von Naturwissenschafts- und Problemlöseaufgaben der PISA 2003-Studie*
ISBN 978-3-8325-2451-7 37.50 EUR
- 100 Hans Ernst Fischer, Elke Sumfleth (Hrsg.): nwu-essen – 10 Jahre Essener Forschung zum naturwissenschaftlichen Unterricht
ISBN 978-3-8325-3331-1 40.00 EUR
- 101 Hendrik Härtig: Sachstrukturen von Physikschulbüchern als Grundlage zur Bestimmung der Inhaltsvalidität eines Tests
ISBN 978-3-8325-2512-5 34.00 EUR
- 102 Thomas Grüß-Niehaus: Zum Verständnis des Löslichkeitskonzeptes im Chemieunterricht. *Der Effekt von Methoden progressiver und kollaborativer Reflexion*
ISBN 978-3-8325-2537-8 40.50 EUR

- 103 Patrick Bronner: Quantenoptische Experimente als Grundlage eines Curriculums zur Quantenphysik des Photons
ISBN 978-3-8325-2540-8 36.00 EUR
- 104 Adrian Voßkühler: Blickbewegungsmessung an Versuchsaufbauten. *Studien zur Wahrnehmung, Verarbeitung und Usability von physikbezogenen Experimenten am Bildschirm und in der Realität*
ISBN 978-3-8325-2548-4 47.50 EUR
- 105 Verena Tobias: Newton'sche Mechanik im Anfangsunterricht. *Die Wirksamkeit einer Einführung über die zweidimensionale Dynamik auf das Lehren und Lernen*
ISBN 978-3-8325-2558-3 54.00 EUR
- 106 Christian Rogge: Entwicklung physikalischer Konzepte in aufgabenbasierten Lernumgebungen
ISBN 978-3-8325-2574-3 45.00 EUR
- 107 Mathias Ropohl: Modellierung von Schülerkompetenzen im Basiskonzept Chemische Reaktion. *Entwicklung und Analyse von Testaufgaben*
ISBN 978-3-8325-2609-2 36.50 EUR
- 108 Christoph Kulgemeyer: Physikalische Kommunikationskompetenz. *Modellierung und Diagnostik*
ISBN 978-3-8325-2674-0 44.50 EUR
- 109 Jennifer Olszewski: The Impact of Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge on Teacher Actions and Student Outcomes
ISBN 978-3-8325-2680-1 33.50 EUR
- 110 Annika Ohle: Primary School Teachers' Content Knowledge in Physics and its Impact on Teaching and Students' Achievement
ISBN 978-3-8325-2684-9 36.50 EUR
- 111 Susanne Mannel: Assessing scientific inquiry. *Development and evaluation of a test for the low-performing stage*
ISBN 978-3-8325-2761-7 40.00 EUR
- 112 Michael Plomer: Physik physiologisch passend praktiziert. *Eine Studie zur Lernwirksamkeit von traditionellen und adressatenspezifischen Physikpraktika für die Physiologie*
ISBN 978-3-8325-2804-1 34.50 EUR
- 113 Alexandra Schulz: Experimentierspezifische Qualitätsmerkmale im Chemieunterricht. *Eine Videostudie*
ISBN 978-3-8325-2817-1 40.00 EUR
- 114 Franz Boczianowski: Eine empirische Untersuchung zu Vektoren im Physikunterricht der Mittelstufe
ISBN 978-3-8325-2843-0 39.50 EUR
- 115 Maria Ploog: Internetbasiertes Lernen durch Textproduktion im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-2853-9 39.50 EUR

- 116 Anja Dhein: Lernen in Explorier- und Experimentiersituationen. *Eine explorative Studie zu Bedeutungsentwicklungsprozessen bei Kindern im Alter zwischen 4 und 6 Jahren*
ISBN 978-3-8325-2859-1 45.50 EUR
- 117 Irene Neumann: Beyond Physics Content Knowledge. *Modeling Competence Regarding Nature of Scientific Inquiry and Nature of Scientific Knowledge*
ISBN 978-3-8325-2880-5 37.00 EUR
- 118 Markus Emden: Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens. *Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I*
ISBN 978-3-8325-2867-6 38.00 EUR
- 119 Birgit Hofmann: Analyse von Blickbewegungen von Schülern beim Lesen von physikbezogenen Texten mit Bildern. *Eye Tracking als Methodenwerkzeug in der physikdidaktischen Forschung*
ISBN 978-3-8325-2925-3 59.00 EUR
- 120 Rebecca Knobloch: Analyse der fachinhaltlichen Qualität von Schüleräußerungen und deren Einfluss auf den Lernerfolg. *Eine Videostudie zu kooperativer Kleingruppenarbeit*
ISBN 978-3-8325-3006-8 36.50 EUR
- 121 Julia Hostenbach: Entwicklung und Prüfung eines Modells zur Beschreibung der Bewertungskompetenz im Chemieunterricht
ISBN 978-3-8325-3013-6 38.00 EUR
- 122 Anna Windt: Naturwissenschaftliches Experimentieren im Elementarbereich. *Evaluation verschiedener Lernsituationen*
ISBN 978-3-8325-3020-4 43.50 EUR
- 123 Eva Kölbach: Kontexteinflüsse beim Lernen mit Lösungsbeispielen
ISBN 978-3-8325-3025-9 38.50 EUR
- 124 Anna Lau: Passung und vertikale Vernetzung im Chemie- und Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-3021-1 36.00 EUR
- 125 Jan Lamprecht: Ausbildungswege und Komponenten professioneller Handlungskompetenz. *Vergleich von Quereinsteigern mit Lehramtsabsolventen für Gymnasien im Fach Physik*
ISBN 978-3-8325-3035-8 38.50 EUR
- 126 Ulrike Böhm: Förderung von Verstehensprozessen unter Einsatz von Modellen
ISBN 978-3-8325-3042-6 41.00 EUR
- 127 Sabrina Dollny: Entwicklung und Evaluation eines Testinstruments zur Erfassung des fachspezifischen Professionswissens von Chemielehrkräften
ISBN 978-3-8325-3046-4 37.00 EUR
- 128 Monika Zimmermann: Naturwissenschaftliche Bildung im Kindergarten. *Eine integrative Längsschnittstudie zur Kompetenzentwicklung von Erzieherinnen*
ISBN 978-3-8325-3053-2 54.00 EUR

- 129 Ulf Saballus: Über das Schlussfolgern von Schülerinnen und Schülern zu öffentlichen Kontroversen mit naturwissenschaftlichem Hintergrund. *Eine Fallstudie*
ISBN 978-3-8325-3086-0 39.50 EUR
- 130 Olaf Krey: Zur Rolle der Mathematik in der Physik. *Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender*
ISBN 978-3-8325-3101-0 46.00 EUR
- 131 Angelika Wolf: Zusammenhänge zwischen der Eigenständigkeit im Physikunterricht, der Motivation, den Grundbedürfnissen und dem Lernerfolg von Schülern
ISBN 978-3-8325-3161-4 45.00 EUR
- 132 Johannes Börlin: Das Experiment als Lerngelegenheit. *Vom interkulturellen Vergleich des Physikunterrichts zu Merkmalen seiner Qualität*
ISBN 978-3-8325-3170-6 45.00 EUR
- 133 Olaf Uhden: Mathematisches Denken im Physikunterricht. *Theorieentwicklung und Problemanalyse*
ISBN 978-3-8325-3170-6 45.00 EUR
- 134 Christoph Gut: Modellierung und Messung experimenteller Kompetenz. *Analyse eines large-scale Experimentiertests*
ISBN 978-3-8325-3213-0 40.00 EUR
- 135 Antonio Rueda: Lernen mit ExploMultimedial in kolumbianischen Schulen. *Analyse von kurzzeitigen Lernprozessen und der Motivation beim länderübergreifenden Einsatz einer deutschen computergestützten multimedialen Lernumgebung für den naturwissenschaftlichen Unterricht*
ISBN 978-3-8325-3218-5 45.50 EUR
- 136 Krisztina Berger: Bilder, Animationen und Notizen. *Empirische Untersuchung zur Wirkung einfacher visueller Repräsentationen und Notizen auf den Wissenserwerb in der Optik*
ISBN 978-3-8325-3238-3 41.50 EUR
- 137 Antony Crossley: Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher physikalischer Konzepte auf den Wissenserwerb in der Thermodynamik der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-3275-8 40.00 EUR
- 138 Tobias Viering: Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I. *Validierung eines Kompetenzentwicklungsmodells für das Energiekonzept im Bereich Fachwissen*
ISBN 978-3-8325-3277-2 37.00 EUR
- 139 Nico Schreiber: Diagnostik experimenteller Kompetenz. *Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells*
ISBN 978-3-8325-3284-0 39.00 EUR
- 140 Sarah Hundertmark: Einblicke in kollaborative Lernprozesse. *Eine Fallstudie zur reflektierenden Zusammenarbeit unterstützt durch die Methoden Concept Mapping und Lernbegleitbogen*
ISBN 978-3-8325-3251-2 43.00 EUR

- 141 Ronny Scherer: Analyse der Struktur, Messinvarianz und Ausprägung komplexer Problemlösekompetenz im Fach Chemie. *Eine Querschnittstudie in der Sekundarstufe I und am Übergang zur Sekundarstufe II*
ISBN 978-3-8325-3312-0 43.00 EUR
- 142 Patricia Heitmann: Bewertungskompetenz im Rahmen naturwissenschaftlicher Problemlöseprozesse. *Modellierung und Diagnose der Kompetenzen Bewertung und analytisches Problemlösen für das Fach Chemie*
ISBN 978-3-8325-3314-4 37.00 EUR
- 143 Jan Fleischhauer: Wissenschaftliches Argumentieren und Entwicklung von Konzepten beim Lernen von Physik
ISBN 978-3-8325-3325-0 35.00 EUR
- 144 Nermin Özcan: Zum Einfluss der Fachsprache auf die Leistung im Fach Chemie. *Eine Förderstudie zur Fachsprache im Chemieunterricht*
ISBN 978-3-8325-3328-1 36.50 EUR
- 145 Helena van Vorst: Kontextmerkmale und ihr Einfluss auf das Schülerinteresse im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-3321-2 38.50 EUR
- 146 Janine Cappell: Fachspezifische Diagnosekompetenz angehender Physiklehrkräfte in der ersten Ausbildungsphase
ISBN 978-3-8325-3356-4 38.50 EUR
- 147 Susanne Bley: Förderung von Transferprozessen im Chemieunterricht
ISBN 978-3-8325-3407-3 40.50 EUR
- 148 Cathrin Blaes: Die übungsgestützte Lehrerrepräsentation im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Evaluation der Effektivität*
ISBN 978-3-8325-3409-7 43.50 EUR
- 149 Julia Suckut: Die Wirksamkeit von piko-OWL als Lehrerfortbildung. Eine Evaluation zum Projekt *Physik im Kontext* in Fallstudien
ISBN 978-3-8325-3440-0 45.00 EUR
- 150 Alexandra Dorschu: Die Wirkung von Kontexten in Physikkompetenztestaufgaben
ISBN 978-3-8325-3446-2 37.00 EUR
- 151 Jochen Scheid: Multiple Repräsentationen, Verständnis physikalischer Experimente und kognitive Aktivierung: *Ein Beitrag zur Entwicklung der Aufgabenkultur*
ISBN 978-3-8325-3449-3 49.00 EUR
- 152 Tim Plasa: Die Wahrnehmung von Schülerlaboren und Schülerforschungszentren
ISBN 978-3-8325-3483-7 35.50 EUR
- 153 Felix Schoppmeier: Physikkompetenz in der gymnasialen Oberstufe. *Entwicklung und Validierung eines Kompetenzstrukturmodells für den Kompetenzbereich Umgang mit Fachwissen*
ISBN 978-3-8325-3502-5 36.00 EUR

- 154 Katharina Groß: Experimente alternativ dokumentieren. *Eine qualitative Studie zur Förderung der Diagnose- und Differenzierungskompetenz in der Chemielehrerbildung*
ISBN 978-3-8325-3508-7 43.50 EUR
- 155 Barbara Hank: Konzeptwandelprozesse im Anfangsunterricht Chemie. *Eine quasixperimentelle Längsschnittstudie*
ISBN 978-3-8325-3519-3 38.50 EUR
- 156 Katja Freyer: Zum Einfluss von Studieneingangsvoraussetzungen auf den Studienerfolg Erstsemesterstudierender im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-3544-5 38.00 EUR
- 157 Alexander Rachel: Auswirkungen instruktionaler Hilfen bei der Einführung des (Ferro-)Magnetismus. *Eine Vergleichsstudie in der Primar- und Sekundarstufe*
ISBN 978-3-8325-3548-3 43.50 EUR
- 158 Sebastian Ritter: Einfluss des Lerninhalts Nanogrößeneffekte auf Teilchen- und Teilchenmodellvorstellungen von Schülerinnen und Schülern
ISBN 978-3-8325-3558-2 36.00 EUR
- 159 Andrea Harbach: Problemorientierung und Vernetzung in kontextbasierten Lernaufgaben
ISBN 978-3-8325-3564-3 39.00 EUR
- 160 David Obst: Interaktive Tafeln im Physikunterricht. *Entwicklung und Evaluation einer Lehrerfortbildung*
ISBN 978-3-8325-3582-7 40.50 EUR
- 161 Sophie Kirschner: Modellierung und Analyse des Professionswissens von Physiklehrkräften
ISBN 978-3-8325-3601-5 35.00 EUR
- 162 Katja Stief: Selbstregulationsprozesse und Hausaufgabenmotivation im Chemieunterricht
ISBN 978-3-8325-3631-2 34.00 EUR
- 163 Nicola Meschede: Professionelle Wahrnehmung der inhaltlichen Strukturierung im naturwissenschaftlichen Grundschulunterricht. *Theoretische Beschreibung und empirische Erfassung*
ISBN 978-3-8325-3668-8 37.00 EUR
- 164 Johannes Maximilian Barth: Experimentieren im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. *Eine Rekonstruktion übergeordneter Einbettungsstrategien*
ISBN 978-3-8325-3681-7 39.00 EUR
- 165 Sandra Lein: Das Betriebspraktikum in der Lehrerbildung. *Eine Untersuchung zur Förderung der Wissenschafts- und Technikbildung im allgemeinbildenden Unterricht*
ISBN 978-3-8325-3698-5 40.00 EUR
- 166 Veranika Maiseyenko: Modellbasiertes Experimentieren im Unterricht. *Praxistauglichkeit und Lernwirkungen*
ISBN 978-3-8325-3708-1 38.00 EUR

- 167 Christoph Stolzenberger: Der Einfluss der didaktischen Lernumgebung auf das Erreichen geforderter Bildungsziele am Beispiel der W- und P-Seminare im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-3708-1 38.00 EUR
- 168 Pia Altenburger: Mehrebenenregressionsanalysen zum Physiklernen im Sachunterricht der Primarstufe. *Ergebnisse einer Evaluationsstudie.*
ISBN 978-3-8325-3717-3 37.50 EUR
- 169 Nora Ferber: Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zur Erfassung von Kompetenzentwicklung im Fach Chemie in der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-3727-2 39.50 EUR
- 170 Anita Stender: Unterrichtsplanung: Vom Wissen zum Handeln.
Theoretische Entwicklung und empirische Überprüfung des Transformationsmodells der Unterrichtsplanung
ISBN 978-3-8325-3750-0 41.50 EUR
- 171 Jenna Koenen: Entwicklung und Evaluation von experimentunterstützten Lösungsbeispielen zur Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen
ISBN 978-3-8325-3785-2 43.00 EUR
- 172 Teresa Henning: Empirische Untersuchung kontextorientierter Lernumgebungen in der Hochschuldidaktik. *Entwicklung und Evaluation kontextorientierter Aufgaben in der Studieneingangsphase für Fach- und Nebenfachstudierende der Physik*
ISBN 978-3-8325-3801-9 43.00 EUR
- 173 Alexander Pusch: Fachspezifische Instrumente zur Diagnose und individuellen Förderung von Lehramtsstudierenden der Physik
ISBN 978-3-8325-3829-3 38.00 EUR
- 174 Christoph Vogelsang: Validierung eines Instruments zur Erfassung der professionellen Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften. *Zusammenhangsanalysen zwischen Lehrerkompetenz und Lehrerperformanz*
ISBN 978-3-8325-3846-0 50.50 EUR
- 175 Ingo Brebeck: Selbstreguliertes Lernen in der Studieneingangsphase im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-3859-0 37.00 EUR
- 176 Axel Eghtessad: Merkmale und Strukturen von Professionalisierungsprozessen in der ersten und zweiten Phase der Chemielehrerbildung. *Eine empirisch-qualitative Studie mit niedersächsischen Fachleiter_innen der Sekundarstufenlehrämter*
ISBN 978-3-8325-3861-3 45.00 EUR
- 177 Andreas Nehring: Wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen im Fach Chemie. Eine kompetenzorientierte Modell- und Testentwicklung für den Bereich der Erkenntnisgewinnung
ISBN 978-3-8325-3872-9 39.50 EUR
- 178 Maike Schmidt: Professionswissen von Sachunterrichtslehrkräften. Zusammenhangsanalyse zur Wirkung von Ausbildungshintergrund und Unterrichtserfahrung auf das fachspezifische Professionswissen im Unterrichtsinhalt „Verbrennung“
ISBN 978-3-8325-3907-8 38.50 EUR

- 179 Jan Winkelmann: Auswirkungen auf den Fachwissenszuwachs und auf affektive Schülermerkmale durch Schüler- und Demonstrationsexperimente im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-3915-3 41.00 EUR
- 180 Iwen Kobow: Entwicklung und Validierung eines Testinstrumentes zur Erfassung der Kommunikationskompetenz im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-3927-6 34.50 EUR
- 181 Yvonne Gramzow: Fachdidaktisches Wissen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik. Modellierung und Testkonstruktion
ISBN 978-3-8325-3931-3 42.50 EUR
- 182 Evelin Schröter: Entwicklung der Kompetenzerwartung durch Lösen physikalischer Aufgaben einer multimedialen Lernumgebung
ISBN 978-3-8325-3975-7 54.50 EUR
- 183 Inga Kallweit: Effektivität des Einsatzes von Selbsteinschätzungsbögen im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Individuelle Förderung durch selbstreguliertes Lernen*
ISBN 978-3-8325-3965-8 44.00 EUR
- 184 Andrea Schumacher: Paving the way towards authentic chemistry teaching. *A contribution to teachers' professional development*
ISBN 978-3-8325-3976-4 48.50 EUR
- 185 David Woitkowski: Fachliches Wissen Physik in der Hochschulausbildung. *Konzeptualisierung, Messung, Niveaubildung*
ISBN 978-3-8325-3988-7 53.00 EUR
- 186 Marianne Korner: Cross-Age Peer Tutoring in Physik. *Evaluation einer Unterrichtsmethode*
ISBN 978-3-8325-3979-5 38.50 EUR
- 187 Simone Nakoinz: Untersuchung zur Verknüpfung submikroskopischer und makroskopischer Konzepte im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4057-9 38.50 EUR
- 188 Sandra Anus: Evaluation individueller Förderung im Chemieunterricht. *Adaptivität von Lerninhalten an das Vorwissen von Lernenden am Beispiel des Basiskonzeptes Chemische Reaktion*
ISBN 978-3-8325-4059-3 43.50 EUR
- 189 Thomas Roßbegalle: Fachdidaktische Entwicklungsforschung zum besseren Verständnis atmosphärischer Phänomene. *Treibhauseffekt, saurer Regen und stratosphärischer Ozonabbau als Kontexte zur Vermittlung von Basiskonzepten der Chemie*
ISBN 978-3-8325-4059-3 45.50 EUR
- 190 Kathrin Steckenmesser-Sander: Gemeinsamkeiten und Unterschiede physikbezogener Handlungs-, Denk- und Lernprozesse von Mädchen und Jungen
ISBN 978-3-8325-4066-1 38.50 EUR
- 191 Cornelia Geller: Lernprozessorientierte Sequenzierung des Physikunterrichts im Zusammenhang mit Fachwissenserwerb. *Eine Videostudie in Finnland, Deutschland und der Schweiz*
ISBN 978-3-8325-4082-1 35.50 EUR

- 192 Jan Hofmann: Untersuchung des Kompetenzaufbaus von Physiklehrkräften während einer Fortbildungsmaßnahme
ISBN 978-3-8325-4104-0 38.50 EUR
- 193 Andreas Dickhäuser: Chemiespezifischer Humor. *Theoriebildung, Materialentwicklung, Evaluation*
ISBN 978-3-8325-4108-8 37.00 EUR
- 194 Stefan Korte: Die Grenzen der Naturwissenschaft als Thema des Physikunterrichts
ISBN 978-3-8325-4112-5 57.50 EUR
- 195 Carolin Hülsmann: Kurswahlmotive im Fach Chemie. Eine Studie zum Wahlverhalten und Erfolg von Schülerinnen und Schülern in der gymnasialen Oberstufe
ISBN 978-3-8325-4144-6 49.00 EUR
- 196 Caroline Körbs: Mindeststandards im Fach Chemie am Ende der Pflichtschulzeit
ISBN 978-3-8325-4148-4 34.00 EUR
- 197 Andreas Vorholzer: Wie lassen sich Kompetenzen des experimentellen Denkens und Arbeitens fördern? *Eine empirische Untersuchung der Wirkung eines expliziten und eines impliziten Instruktionsansatzes*
ISBN 978-3-8325-4194-1 37.50 EUR
- 198 Anna Katharina Schmitt: Entwicklung und Evaluation einer Chemielehrerfortbildung zum Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung
ISBN 978-3-8325-4228-3 39.50 EUR
- 199 Christian Maurer: Strukturierung von Lehr-Lern-Sequenzen
ISBN 978-3-8325-4247-4 36.50 EUR
- 200 Helmut Fischler, Elke Sumfleth (Hrsg.): Professionelle Kompetenz von Lehrkräften der Chemie und Physik
ISBN 978-3-8325-4523-9 34.00 EUR
- 201 Simon Zander: Lehrerfortbildung zu Basismodellen und Zusammenhänge zum Fachwissen
ISBN 978-3-8325-4248-1 35.00 EUR
- 202 Kerstin Arndt: Experimentierkompetenz erfassen. *Analyse von Prozessen und Mustern am Beispiel von Lehramtsstudierenden der Chemie*
ISBN 978-3-8325-4266-5 45.00 EUR
- 203 Christian Lang: Kompetenzorientierung im Rahmen experimentalchemischer Praktika
ISBN 978-3-8325-4268-9 42.50 EUR
- 204 Eva Cauet: Testen wir relevantes Wissen? *Zusammenhang zwischen dem Professionswissen von Physiklehrkräften und gutem und erfolgreichem Unterrichten*
ISBN 978-3-8325-4276-4 39.50 EUR
- 205 Patrick Löffler: Modellanwendung in Problemlöseaufgaben. *Wie wirkt Kontext?*
ISBN 978-3-8325-4303-7 35.00 EUR

- 206 Carina Gehlen: Kompetenzstruktur naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4318-1 43.00 EUR
- 207 Lars Oettinghaus: Lehrerüberzeugungen und physikbezogenes Professionswissen. *Vergleich von Absolventinnen und Absolventen verschiedener Ausbildungswege im Physikreferendariat*
ISBN 978-3-8325-4319-8 38.50 EUR
- 208 Jennifer Petersen: Zum Einfluss des Merkmals Humor auf die Gesundheitsförderung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Eine Interventionsstudie zum Thema Sonnenschutz*
ISBN 978-3-8325-4348-8 40.00 EUR
- 209 Philipp Straube: Modellierung und Erfassung von Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung bei (Lehramts-) Studierenden im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-4351-8 35.50 EUR
- 210 Martin Dickmann: Messung von Experimentierfähigkeiten. *Validierungsstudien zur Qualität eines computerbasierten Testverfahrens*
ISBN 978-3-8325-4356-3 41.00 EUR
- 211 Markus Bohlmann: Science Education. Empirie, Kulturen und Mechanismen der Didaktik der Naturwissenschaften
ISBN 978-3-8325-4377-8 44.00 EUR
- 212 Martin Draude: Die Kompetenz von Physiklehrkräften, Schwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern beim eigenständigen Experimentieren zu diagnostizieren
ISBN 978-3-8325-4382-2 37.50 EUR
- 213 Henning Rode: Prototypen evidenzbasierten Physikunterrichts. *Zwei empirische Studien zum Einsatz von Feedback und Blackboxes in der Sekundarstufe*
ISBN 978-3-8325-4389-1 42.00 EUR
- 214 Jan-Henrik Kechel: Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren. *Eine qualitative Studie am Beispiel einer Experimentieraufgabe zum Hooke'schen Gesetz*
ISBN 978-3-8325-4392-1 55.00 EUR
- 215 Katharina Fricke: Classroom Management and its Impact on Lesson Outcomes in Physics. *A multi-perspective comparison of teaching practices in primary and secondary schools*
ISBN 978-3-8325-4394-5 40.00 EUR
- 216 Hannes Sander: Orientierungen von Jugendlichen beim Urteilen und Entscheiden in Kontexten nachhaltiger Entwicklung. *Eine rekonstruktive Perspektive auf Bewertungskompetenz in der Didaktik der Naturwissenschaft*
ISBN 978-3-8325-4434-8 46.00 EUR
- 217 Inka Haak: Maßnahmen zur Unterstützung kognitiver und metakognitiver Prozesse in der Studieneingangsphase. *Eine Design-Based-Research-Studie zum universitären Lernzentrum Physiktreff*
ISBN 978-3-8325-4437-9 46.50 EUR

- 218 Martina Brandenburger: Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik?
Eine Untersuchung mit Studierenden
ISBN 978-3-8325-4409-6 42.50 EUR
- 219 Corinna Helms: Entwicklung und Evaluation eines Trainings zur Verbesserung der Erklärqualität von Schülerinnen und Schülern im Gruppenpuzzle
ISBN 978-3-8325-4454-6 42.50 EUR
- 220 Viktoria Rath: Diagnostische Kompetenz von angehenden Physiklehrkräften. *Modellierung, Testinstrumentenentwicklung und Erhebung der Performanz bei der Diagnose von Schülervorstellungen in der Mechanik*
ISBN 978-3-8325-4456-0 42.50 EUR
- 221 Janne Krüger: Schülerperspektiven auf die zeitliche Entwicklung der Naturwissenschaften
ISBN 978-3-8325-4457-7 45.50 EUR
- 222 Stefan Mutke: Das Professionswissen von Chemiereferendarinnen und -referendaren in Nordrhein-Westfalen. *Eine Längsschnittstudie*
ISBN 978-3-8325-4458-4 37.50 EUR
- 223 Sebastian Habig: Systematisch variierte Kontextaufgaben und ihr Einfluss auf kognitive und affektive Schülerfaktoren
ISBN 978-3-8325-4467-6 40.50 EUR
- 224 Sven Liepertz: Zusammenhang zwischen dem Professionswissen von Physiklehrkräften, dem sachstrukturellen Angebot des Unterrichts und der Schülerleistung
ISBN 978-3-8325-4480-5 34.00 EUR
- 225 Elina Platova: Optimierung eines Laborpraktikums durch kognitive Aktivierung
ISBN 978-3-8325-4481-2 39.00 EUR
- 226 Tim Reschke: Lese Geschichten im Chemieunterricht der Sekundarstufe I zur Unterstützung von situationalem Interesse und Lernerfolg
ISBN 978-3-8325-4487-4 41.00 EUR
- 227 Lena Mareike Walper: Entwicklung der physikbezogenen Interessen und selbstbezogenen Kognitionen von Schülerinnen und Schülern in der Übergangsphase von der Primar- in die Sekundarstufe. *Eine Längsschnittanalyse vom vierten bis zum siebten Schuljahr*
ISBN 978-3-8325-4495-9 43.00 EUR
- 228 Stefan Anthofer: Förderung des fachspezifischen Professionswissens von Chemielehramtsstudierenden
ISBN 978-3-8325-4498-0 39.50 EUR
- 229 Marcel Bullinger: Handlungsorientiertes Physiklernen mit instruierten Selbsterklärungen in der Primarstufe. *Eine experimentelle Laborstudie*
ISBN 978-3-8325-4504-8 44.00 EUR
- 230 Thomas Amenda: Bedeutung fachlicher Elementarisierungen für das Verständnis der Kinematik
ISBN 978-3-8325-4531-4 43.50 EUR

- 231 Sabrina Milke: Beeinflusst *Priming* das Physiklernen?
Eine empirische Studie zum Dritten Newtonschen Axiom
ISBN 978-3-8325-4549-4 42.00 EUR
- 232 Corinna Erfmann: Ein anschaulicher Weg zum Verständnis der elektromagnetischen Induktion. *Evaluation eines Unterrichtsvorschlags und Validierung eines Leistungsdiagnoseinstruments*
ISBN 978-3-8325-4550-5 49.50 EUR
- 233 Hanne Rautenstrauch: Erhebung des (Fach-)Sprachstandes bei Lehramtsstudierenden im Kontext des Faches Chemie
ISBN 978-3-8325-4556-7 40.50 EUR
- 234 Tobias Klug: Wirkung kontextorientierter physikalischer Praktikumsversuche auf Lernprozesse von Studierenden der Medizin
ISBN 978-3-8325-4558-1 37.00 EUR
- 235 Mareike Bohrmann: Zur Förderung des Verständnisses der Variablenkontrolle im naturwissenschaftlichen Sachunterricht
ISBN 978-3-8325-4559-8 52.00 EUR
- 236 Anja Schödl: FALKO-Physik – Fachspezifische Lehrerkompetenzen im Fach Physik. *Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zur Erfassung des fachspezifischen Professionswissens von Physiklehrkräften*
ISBN 978-3-8325-4553-6 40.50 EUR
- 237 Hilda Scheuermann: Entwicklung und Evaluation von Unterstützungsmaßnahmen zur Förderung der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten
ISBN 978-3-8325-4568-0 39.00 EUR
- 238 Christian G. Strippel: Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung an chemischen Inhalten vermitteln. *Konzeption und empirische Untersuchung einer Ausstellung mit Experimentierstation*
ISBN 978-3-8325-4577-2 41.50 EUR
- 239 Sarah Rau: Durchführung von Sachunterricht im Vorbereitungsdienst. *Eine längsschnittliche, videobasierte Unterrichtsanalyse*
ISBN 978-3-8325-4579-6 46.00 EUR
- 240 Thomas Plotz: Lernprozesse zu nicht-sichtbarer Strahlung. *Empirische Untersuchungen in der Sekundarstufe 2*
ISBN 978-3-8325-4624-3 39.50 EUR
- 241 Wolfgang Aschauer: Elektrische und magnetische Felder. *Eine empirische Studie zu Lernprozessen in der Sekundarstufe II*
ISBN 978-3-8325-4625-0 50.00 EUR
- 242 Anna Donhauser: Didaktisch rekonstruierte Materialwissenschaft. *Aufbau und Konzeption eines Schülerlabors für den Exzellenzcluster Engineering of Advanced Materials*
ISBN 978-3-8325-4636-6 39.00 EUR

- 243 Katrin Schüßler: Lernen mit Lösungsbeispielen im Chemieunterricht. *Einflüsse auf Lernerfolg, kognitive Belastung und Motivation*
ISBN 978-3-8325-4640-3 42.50 EUR
- 244 Timo Fleischer: Untersuchung der chemischen Fachsprache unter besonderer Berücksichtigung chemischer Repräsentationen
ISBN 978-3-8325-4642-7 46.50 EUR
- 245 Rosina Steininger: Concept Cartoons als Stimuli für Kleingruppendiskussionen im Chemieunterricht. *Beschreibung und Analyse einer komplexen Lerngelegenheit*
ISBN 978-3-8325-4647-2 39.00 EUR
- 246 Daniel Rehfeldt: Erfassung der Lehrqualität naturwissenschaftlicher Experimentalpraktika
ISBN 978-3-8325-4590-1 40.00 EUR
- 247 Sandra Puddu: Implementing Inquiry-based Learning in a Diverse Classroom: Investigating Strategies of Scaffolding and Students' Views of Scientific Inquiry
ISBN 978-3-8325-4591-8 35.50 EUR
- 248 Markus Bliersbach: Kreativität in der Chemie. *Erhebung und Förderung der Vorstellungen von Chemielehramtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-4593-2 44.00 EUR
- 249 Lennart Kimpel: Aufgaben in der Allgemeinen Chemie. *Zum Zusammenspiel von chemischem Verständnis und Rechenfähigkeit*
ISBN 978-3-8325-4618-2 36.00 EUR
- 250 Louise Bindel: Effects of integrated learning: explicating a mathematical concept in inquiry-based science camps
ISBN 978-3-8325-4655-7 37.50 EUR
- 251 Michael Wenzel: Computereinsatz in Schule und Schülerlabor. *Einstellung von Physiklehrkräften zu Neuen Medien*
ISBN 978-3-8325-4659-5 38.50 EUR
- 252 Laura Muth: Einfluss der Auswertephase von Experimenten im Physikunterricht. *Ergebnisse einer Interventionsstudie zum Zuwachs von Fachwissen und experimenteller Kompetenz von Schülerinnen und Schülern*
ISBN 978-3-8325-4675-5 36.50 EUR
- 253 Annika Fricke: Interaktive Skripte im Physikalischen Praktikum. *Entwicklung und Evaluation von Hypermedien für die Nebenfachausbildung*
ISBN 978-3-8325-4676-2 41.00 EUR
- 254 Julia Haase: Selbstbestimmtes Lernen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. *Eine empirische Interventionsstudie mit Fokus auf Feedback und Kompetenzerleben*
ISBN 978-3-8325-4685-4 38.50 EUR
- 255 Antje J. Heine: Was ist Theoretische Physik? *Eine wissenschaftstheoretische Betrachtung und Rekonstruktion von Vorstellungen von Studierenden und Dozenten über das Wesen der Theoretischen Physik*
ISBN 978-3-8325-4691-5 46.50 EUR

- 256 Claudia Meinhardt: Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zu Selbstwirksamkeitserwartungen von (angehenden) Physiklehrkräften in physikdidaktischen Handlungsfeldern
ISBN 978-3-8325-4712-7 47.00 EUR
- 257 Ann-Kathrin Schlüter: Professionalisierung angehender Chemielehrkräfte für einen Gemeinsamen Unterricht
ISBN 978-3-8325-4713-4 53.50 EUR
- 258 Stefan Richtberg: Elektronenbahnen in Feldern. Konzeption und Evaluation einer webbasierten Lernumgebung
ISBN 978-3-8325-4723-3 49.00 EUR
- 259 Jan-Philipp Burde: Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells
ISBN 978-3-8325-4726-4 57.50 EUR
- 260 Frank Finkenbergr: Flipped Classroom im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-4737-4 42.50 EUR
- 261 Florian Treisch: Die Entwicklung der Professionellen Unterrichtswahrnehmung im Lehr-Lern-Labor Seminar
ISBN 978-3-8325-4741-4 41.50 EUR
- 262 Desiree Mayr: Strukturiertheit des experimentellen naturwissenschaftlichen Problemlöseprozesses
ISBN 978-3-8325-4757-8 37.00 EUR
- 263 Katrin Weber: Entwicklung und Validierung einer Learning Progression für das Konzept der chemischen Reaktion in der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-4762-2 48.50 EUR
- 264 Hauke Bartels: Entwicklung und Bewertung eines performanznahen Videovignetten-tests zur Messung der Erklärfähigkeit von Physiklehrkräften
ISBN 978-3-8325-4804-9 37.00 EUR
- 265 Karl Marniok: Zum Wesen von Theorien und Gesetzen in der Chemie. *Begriffsanalyse und Förderung der Vorstellungen von Lehramtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-4805-6 42.00 EUR
- 266 Marisa Holzapfel: Fachspezifischer Humor als Methode in der Gesundheitsbildung im Übergang von der Primarstufe zur Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-4808-7 50.00 EUR
- 267 Anna Stolz: Die Auswirkungen von Experimentiersituationen mit unterschiedlichem Öffnungsgrad auf Leistung und Motivation der Schülerinnen und Schüler
ISBN 978-3-8325-4781-3 38.00 EUR
- 268 Nina Ulrich: Interaktive Lernaufgaben in dem digitalen Schulbuch eChemBook. *Einfluss des Interaktivitätsgrads der Lernaufgaben und des Vorwissens der Lernenden auf den Lernerfolg*
ISBN 978-3-8325-4814-8 43.50 EUR

- 269 Kim-Alessandro Weber: Quantenoptik in der Lehrerfortbildung. *Ein bedarfsgeprägtes Fortbildungskonzept zum Quantenobjekt Photon mit Realexperimenten*
ISBN 978-3-8325-4792-9 55.00 EUR
- 270 Nina Skorsetz: Empathisierer und Systematisierer im Vorschulalter. *Eine Fragebogen- und Videostudie zur Motivation, sich mit Naturphänomenen zu beschäftigen*
ISBN 978-3-8325-4825-4 43.50 EUR
- 271 Franziska Kehne: Analyse des Transfers von kontextualisiert erworbenem Wissen im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4846-9 45.00 EUR
- 272 Markus Elsholz: Das akademische Selbstkonzept angehender Physiklehrkräfte als Teil ihrer professionellen Identität. *Dimensionalität und Veränderung während einer zentralen Praxisphase*
ISBN 978-3-8325-4857-5 37.50 EUR
- 273 Joachim Müller: Studienerfolg in der Physik. *Zusammenhang zwischen Modellierungskompetenz und Studienerfolg*
ISBN 978-3-8325-4859-9 35.00 EUR
- 274 Jennifer Dörscheln: Organische Leuchtdioden. *Implementation eines innovativen Themas in den Chemieunterricht*
ISBN 978-3-8325-4865-0 59.00 EUR
- 275 Stephanie Strelow: Beliefs von Studienanfängern des Kombi-Bachelors Physik über die Natur der Naturwissenschaften
ISBN 978-3-8325-4881-0 40.50 EUR
- 276 Dennis Jaeger: Kognitive Belastung und aufgabenspezifische sowie personenspezifische Einflussfaktoren beim Lösen von Physikaufgaben
ISBN 978-3-8325-4928-2 50.50 EUR
- 277 Vanessa Fischer: Der Einfluss von Interesse und Motivation auf die Messung von Fach- und Bewertungskompetenz im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4933-6 39.00 EUR
- 278 René Dohrmann: Professionsbezogene Wirkungen einer Lehr-Lern-Labor-Veranstaltung. *Eine multimethodische Studie zu den professionsbezogenen Wirkungen einer Lehr-Lern-Labor-Blockveranstaltung auf Studierende der Bachelorstudiengänge Lehramt Physik und Grundschulpädagogik (Sachunterricht)*
ISBN 978-3-8325-4958-9 40.00 EUR
- 279 Meike Bergs: Can We Make Them Use These Strategies? *Fostering Inquiry-Based Science Learning Skills with Physical and Virtual Experimentation Environments*
ISBN 978-3-8325-4962-6 39.50 EUR
- 280 Marie-Therese Hauerstein: Untersuchung zur Effektivität von Strukturierung und Binnendifferenzierung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Evaluation der Strukturierungshilfe Lernleiter*
ISBN 978-3-8325-4982-4 42.50 EUR

- 281 Verena Zucker: Erkennen und Beschreiben von formativem Assessment im naturwissenschaftlichen Grundschulunterricht. *Entwicklung eines Instruments zur Erfassung von Teilfähigkeiten der professionellen Wahrnehmung von Lehramtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-4991-6 38.00 EUR
- 282 Victoria Telser: Erfassung und Förderung experimenteller Kompetenz von Lehrkräften im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4996-1 50.50 EUR
- 283 Kristine Tschirschky: Entwicklung und Evaluation eines gedächtnisorientierten Aufgabendesigns für Physikaufgaben
ISBN 978-3-8325-5002-8 42.50 EUR
- 284 Thomas Elert: Course Success in the Undergraduate General Chemistry Lab
ISBN 978-3-8325-5004-2 41.50 EUR
- 285 Britta Kalthoff: Explizit oder implizit? *Untersuchung der Lernwirksamkeit verschiedener fachmethodischer Instruktionen im Hinblick auf fachmethodische und fachinhaltliche Fähigkeiten von Sachunterrichtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-5013-4 37.50 EUR
- 286 Thomas Dickmann: Visuelles Modellverständnis und Studienerfolg in der Chemie. *Zwei Seiten einer Medaille*
ISBN 978-3-8325-5016-5 44.00 EUR
- 287 Markus Sebastian Feser: Physiklehrkräfte korrigieren Schülertexte. *Eine Explorationsstudie zur fachlich-konzeptuellen und sprachlichen Leistungsfeststellung und -beurteilung im Physikunterricht*
ISBN 978-3-8325-5020-2 49.00 EUR
- 288 Matylda Dudzinska: Lernen mit Beispielaufgaben und Feedback im Physikunterricht der Sekundarstufe 1. *Energieerhaltung zur Lösung von Aufgaben nutzen*
ISBN 978-3-8325-5025-7 47.00 EUR
- 289 Ines Sonnenschein: Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsprozesse Studierender im Labor
ISBN 978-3-8325-5033-2 52.00 EUR
- 290 Florian Simon: Der Einfluss von Betreuung und Betreuenden auf die Wirksamkeit von Schülerlaborbesuchen. *Eine Zusammenhangsanalyse von Betreuungsqualität, Betreuermerkmalen und Schülerlaborzielen sowie Replikationsstudie zur Wirksamkeit von Schülerlaborbesuchen*
ISBN 978-3-8325-5036-3 49.50 EUR
- 291 Marie-Annette Geyer: Physikalisch-mathematische Darstellungswechsel funktionaler Zusammenhänge. *Das Vorgehen von SchülerInnen der Sekundarstufe 1 und ihre Schwierigkeiten*
ISBN 978-3-8325-5047-9 46.50 EUR
- 292 Susanne Digel: Messung von Modellierungskompetenz in Physik. *Theoretische Herleitung und empirische Prüfung eines Kompetenzmodells physikspezifischer Modellierungskompetenz*
ISBN 978-3-8325-5055-4 41.00 EUR

- 293 Sönke Janssen: Angebots-Nutzungs-Prozesse eines Schülerlabors analysieren und gestalten. *Ein design-based research Projekt*
ISBN 978-3-8325-5065-3 57.50 EUR
- 294 Knut Wille: Der Productive Failure Ansatz als Beitrag zur Weiterentwicklung der Aufgabenkultur
ISBN 978-3-8325-5074-5 49.00 EUR
- 295 Lisanne Kraeva: Problemlösestrategien von Schülerinnen und Schülern diagnostizieren
ISBN 978-3-8325-5110-0 59.50 EUR
- 296 Jenny Lorentzen: Entwicklung und Evaluation eines Lernangebots im Lehramtsstudium Chemie zur Förderung von Vernetzungen innerhalb des fachbezogenen Professionswissens
ISBN 978-3-8325-5120-9 39.50 EUR
- 297 Micha Winkelmann: Lernprozesse in einem Schülerlabor unter Berücksichtigung individueller naturwissenschaftlicher Interessenstrukturen
ISBN 978-3-8325-5147-6 48.50 EUR
- 298 Carina Wöhlke: Entwicklung und Validierung eines Instruments zur Erfassung der professionellen Unterrichtswahrnehmung angehender Physiklehrkräfte
ISBN 978-3-8325-5149-0 43.00 EUR
- 299 Thomas Schubatzky: Das Amalgam Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht. *Eine multiperspektivische Betrachtung in Deutschland und Österreich*
ISBN 978-3-8325-5159-9 50.50 EUR
- 300 Amany Annaggar: A Design Framework for Video Game-Based Gamification Elements to Assess Problem-solving Competence in Chemistry Education
ISBN 978-3-8325-5150-6 52.00 EUR
- 301 Alexander Engl: CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur: *Entwicklung und Evaluation eines kontextorientierten Unterrichtskonzepts im Bereich Outdoor Education zur Veränderung der Einstellung zu „Chemie und Natur“*
ISBN 978-3-8325-5174-2 59.00 EUR
- 302 Christin Marie Sajons: Kognitive und motivationale Dynamik in Schülerlaboren. *Kontextualisierung, Problemorientierung und Autonomieunterstützung der didaktischen Struktur analysieren und weiterentwickeln*
ISBN 978-3-8325-5155-1 56.00 EUR
- 303 Philipp Bitzenbauer: Quantenoptik an Schulen. *Studie im Mixed-Methods Design zur Evaluation des Erlanger Unterrichtskonzepts zur Quantenoptik*
ISBN 978-3-8325-5123-0 59.00 EUR
- 304 Malte S. Ubben: Typisierung des Verständnisses mentaler Modelle mittels empirischer Datenerhebung am Beispiel der Quantenphysik
ISBN 978-3-8325-5181-0 43.50 EUR
- 305 Wiebke Kuske-Janßen: Sprachlicher Umgang mit Formeln von LehrerInnen im Physikunterricht am Beispiel des elektrischen Widerstandes in Klassenstufe 8
ISBN 978-3-8325-5183-4 47.50 EUR

- 306 Kai Bliesmer: Physik der Küste für außerschulische Lernorte. *Eine Didaktische Rekonstruktion*
ISBN 978-3-8325-5190-2 58.00 EUR
- 307 Nikola Schild: Eignung von domänenspezifischen Studieneingangsvariablen als Prädiktoren für Studienerfolg im Fach und Lehramt Physik
ISBN 978-3-8325-5226-8 42.00 EUR
- 308 Daniel Averbeck: Zum Studienerfolg in der Studieneingangsphase des Chemiestudiums. *Der Einfluss kognitiver und affektiv-motivationaler Variablen*
ISBN 978-3-8325-5227-5 51.00 EUR
- 309 Martina Strübe: Modelle und Experimente im Chemieunterricht. *Eine Videostudie zum fachspezifischen Lehrerwissen und -handeln*
ISBN 978-3-8325-5245-9 45.50 EUR
- 310 Wolfgang Becker: Auswirkungen unterschiedlicher experimenteller Repräsentationen auf den Kenntnisstand bei Grundschulkindern
ISBN 978-3-8325-5255-8 50.00 EUR
- 311 Marvin Rost: Modelle als Mittel der Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Entwicklung und quantitative Dimensionalitätsanalyse eines Testinstruments aus epistemologischer Perspektive*
ISBN 978-3-8325-5256-5 44.00 EUR
- 312 Christina Kobl: Förderung und Erfassung der Reflexionskompetenz im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-5259-6 41.00 EUR
- 313 Ann-Kathrin Beretz: Diagnostische Prozesse von Studierenden des Lehramts – *eine Videostudie in den Fächern Physik und Mathematik*
ISBN 978-3-8325-5288-6 45.00 EUR
- 314 Judith Breuer: Implementierung fachdidaktischer Innovationen durch das Angebot materialgestützter Unterrichtskonzeptionen. *Fallanalysen zum Nutzungsverhalten von Lehrkräften am Beispiel des Münchener Lehrgangs zur Quantenmechanik*
ISBN 978-3-8325-5293-0 50.50 EUR
- 315 Michaela Oettle: Modellierung des Fachwissens von Lehrkräften in der Teilchenphysik. *Eine Delphi-Studie*
ISBN 978-3-8325-5305-0 57.50 EUR

Alle erschienenen Bücher können unter der angegebenen ISBN direkt online (<http://www.logos-verlag.de>) oder per Fax (030 - 42 85 10 92) beim Logos Verlag Berlin bestellt werden.

Studien zum Physik- und Chemielernen

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

Die Reihe umfasst inzwischen eine große Zahl von wissenschaftlichen Arbeiten aus vielen Arbeitsgruppen der Physik- und Chemiedidaktik und zeichnet damit ein gültiges Bild der empirischen physik- und chemiedidaktischen Forschung im deutschsprachigen Raum.

Die Herausgeber laden daher Interessenten zu neuen Beiträgen ein und bitten sie, sich im Bedarfsfall an den Logos-Verlag oder an ein Mitglied des Herausgeberteams zu wenden.

Kontaktadressen:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf
Universität Wien,
Österreichisches Kompetenzzentrum
für Didaktik der Physik,
Porzellangasse 4, Stiege 2,
1090 Wien, Österreich,
Tel. +43-1-4277-60330,
e-mail: martin.hopf@univie.ac.at

Prof. Dr. Hans Niedderer
Inst. f. Didaktik der Naturwissenschaften,
Abt. Physikdidaktik,
FB Physik/ Elektrotechnik,
Universität Bremen,
Postfach 33 04 40, 28334 Bremen
Tel. 0421-218 4695 (Sekretariat),
e-mail: niedderer@physik.uni-bremen.de

Prof. Dr. Mathias Ropohl
Didaktik der Chemie,
Fakultät für Chemie,
Universität Duisburg-Essen,
Schützenbahn 70, 45127 Essen,
Tel. 0201-183 2704,
e-mail: mathias.ropohl@uni-due.de

Prof. Dr. Elke Sumfleth
Didaktik der Chemie,
Fakultät für Chemie,
Universität Duisburg-Essen,
Schützenbahn 70, 45127 Essen
Tel. 0201-183 3757/3761,
e-mail: elke.sumfleth@uni-due.de

Ein zentrales Ziel der fachdidaktischen Forschung stellt die Verbesserung schulischen Unterrichts dar. Eine Transferstrategie zur flächendeckenden Verbreitung wissenschaftlicher Erkenntnisse bildet die Bereitstellung evidenzbasierter, innovativer materialgestützter Unterrichtskonzeptionen. Allerdings fällt das Materialnutzungsverhalten von Lehrkräften individuell sehr unterschiedlich aus, wobei das Zusammenspiel verschiedener Einflussfaktoren auf die Materialnutzung bislang wenig erforscht ist.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, dieses Wirkgefüge unter authentischen Bedingungen genauer zu untersuchen. Dazu wurde kriteriengeleitet eine evidenzbasierte, fachdidaktisch innovative Unterrichtskonzeption ausgewählt (das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik) und den teilnehmenden Lehrkräften fakultativ zur Verfügung gestellt. Mittels eines qualitativen Forschungsansatzes wurden elf Lehrkräfte bei der Implementierung des Konzepts durch ein Interview zu Beginn und am Ende einer Unterrichtsreihe zur Quantenmechanik sowie zwei Unterrichtsbeobachtungen mit je einem anschließenden *stimulated recall* begleitet. Aus den Ergebnissen folgt, dass die Probanden sich überwiegend heuristisch mit der Konzeption auseinandersetzten und lediglich Elemente auf Sichtstrukturebene implementierten. Das nachgewiesene Wirksamkeitspotential von evidenzbasierten, innovativen Unterrichtskonzeptionen scheint sich folglich lediglich unter bestimmten Bedingungsfaktoren zu entfalten.

Logos Verlag Berlin

ISBN 978-3-8325-5293-0