

Studien zum Physik- und Chemielernen

H. Niedderer, H. Fischler, E. Sumfleth [Hrsg.]

299

Thomas Schubatzky

Das Amalgam Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht

Eine multiperspektivische Betrachtung
in Deutschland und Österreich

λογος

Studien zum Physik- und Chemielernen

Herausgegeben von Hans Niedderer, Helmut Fischler und Elke Sumfleth

Diese Reihe im Logos-Verlag bietet ein Forum zur Veröffentlichung von wissenschaftlichen Studien zum Physik- und Chemielernen. In ihr werden Ergebnisse empirischer Untersuchungen zum Physik- und Chemielernen dargestellt, z. B. über Schülervorstellungen, Lehr-/Lernprozesse in Schule und Hochschule oder Evaluationsstudien. Von Bedeutung sind auch Arbeiten über Motivation und Einstellungen sowie Interessensgebiete im Physik- und Chemieunterricht. Die Reihe fühlt sich damit der Tradition der empirisch orientierten Forschung in den Fachdidaktiken verpflichtet. Die Herausgeber hoffen, durch die Herausgabe von Studien hoher Qualität einen Beitrag zur weiteren Stabilisierung der physik- und chemiedidaktischen Forschung und zur Förderung eines an den Ergebnissen fachdidaktischer Forschung orientierten Unterrichts in den beiden Fächern zu leisten.

Hans Niedderer

Helmut Fischler

Elke Sumfleth

Studien zum Physik- und Chemielernen

Band 299

Thomas Schubatzky

Das Amalgam
Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht

Eine multiperspektivische Betrachtung
in Deutschland und Österreich

Logos Verlag Berlin



Studien zum Physik- und Chemielernen

Hans Niederer, Helmut Fischler, 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 2020

Alle Rechte vorbehalten.

ISBN 978-3-8325-5159-9

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>

Das Amalgam

Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht

Eine multiperspektivische Betrachtung
in Deutschland und Österreich

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades:

Doctor of Philosophy (PhD)

Interfakultäres Doktoratsstudium Fachdidaktik

eingereicht von

Thomas Schubatzky

bei

Univ.-Prof.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ Claudia Haagen-Schützenhöfer

Institut für Physik

an der Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Karl-Franzens-Universität Graz

Zweitgutachter: Univ.-Prof. Dr. Josef Riese

Graz, im März 2020

Zusammenfassung

Die Elektrizitätslehre ist ein schwieriges Thema, sodass viele Lernende selbst am Ende der Sekundarstufe I kein angemessenes Verständnis einfacher Stromkreise entwickelt haben. An dieser Problemstellung setzt das Design-Based-Research Projekt EPO-EKO an und untersucht die Effekte unterschiedlicher Unterrichtskonzepte auf den Lernerfolg von SchülerInnen in einem quasi-experimentellen Design. Der Unterricht auf Basis der entwickelten Unterrichtskonzepte wird dabei mit sogenanntem „traditionellen Unterricht“ verglichen. Traditioneller Unterricht in seiner Gesamtheit weist Parallelen zu einem Amalgam auf, in dem unterschiedliche Ideen und Traditionen subsummiert werden. Um einen differenzierten Blick auf die Ergebnisse von Interventionsstudien sowie auf Akzeptanzhürden von Lehrkräften bei der Umsetzung neuer Unterrichtskonzepte, die von traditionellem Unterricht abweichen, zu erhalten ist es notwendig zu beleuchten, wie "traditioneller Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht" beschrieben werden kann bzw. was in diesem Amalgam zusammengefasst ist.

Im Zuge dieser Dissertation, die Teil des EPO-EKO Projekts ist, wurde der Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht in der siebten bzw. achten Jahrgangsstufe von 32 Physiklehrkräften in Bayern, Hessen und Österreich aus unterschiedlichen Perspektiven untersucht: Einerseits wurden Elemente der individuellen unterrichtlichen Sachstruktur wie thematisierte Fachinhalte oder eingesetzte Analogiemodelle mithilfe von Unterrichtslogbüchern und Schülerheften auf Basis eines dazu entwickelten Kategoriensystems rekonstruiert. Andererseits wurde der indirekte Zusammenhang zwischen ausgewählten Lehrkräftemerkmalen und der Entwicklung ausgewählter Schülervariablen (Fachwissen, Fachinteresse, physikbezogenes Selbstkonzept) anhand von Mehrebenenanalysen untersucht. Der Fokus lag dabei einerseits auf dem Topic Specific Professional Knowledge (Wissen über Schülervorstellungen und Wissen über Instruktionsstrategien) der Lehrkräfte als Teil des Professionswissen und andererseits auf Aspekten epistemologischer Vorstellungen der Lehrkräfte sowie deren Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Auswahl der im jeweiligen Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht thematisierten Fachinhalte der teilnehmenden

Lehrkräfte trotz ähnlicher curricularer Vorgaben unterschiedlich ausfällt. In einer globalen Betrachtung der Abfolge häufig thematisierter Inhalte lassen sich jedoch einige Muster identifizieren, denen ein Großteil der Lehrkräfte folgt. Für den Einsatz von Analogiemodellen lässt sich ebenso ein ähnliches Vorgehen der Lehrkräfte in Bezug auf die Auswahl und die Art des Einsatzes feststellen. Im Zuge der Mehrebenenanalysen konnten die erhobenen Facetten des Topic Specific Professional Knowledge der Lehrkräfte im Inhaltsbereich Elektrizitätslehre in einer Betrachtung des Gesamtsamples der SchülerInnen (N = 874) nicht als signifikanter Prädiktor für den fachlichen Lernerfolg identifiziert werden. In einer Analyse der Lehrkräfte mit weniger als zehn Dienstjahren wurde ein signifikant positiver Zusammenhang mit fachlichem Lernerfolg der SchülerInnen gefunden. Für die Entwicklung des Fachinteresses und physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen stellten sich die erhobenen Teilaspekte epistemologischer Vorstellungen und die Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen als signifikante Prädiktoren heraus.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Professionelle Ressourcen von Lehrkräften.....	9
2.1	Professionswissen	12
2.1.1	Binnenstruktur fachdidaktischen Wissens.....	14
2.2	Consensus-Modelle von PCK.....	17
2.2.1	Das Model of Teacher Professional Knowledge and Skill (TPK&S)	17
2.2.2	Das Refined Consensus Model (RCM)	20
2.3	Beliefs und motivationale Orientierungen.....	23
2.3.1	Beliefs	24
2.3.2	Selbstwirksamkeitserwartung als motivationale Orientierung	25
3	Zusammenhang von PCK mit fachlichen Schülerleistungen in der Naturwissenschaftsdidaktik.....	27
3.1	PLUS (2010).....	28
3.2	I, Bio (2010)	32
3.3	STeLLA (2011)	35
3.4	Sadler et al. (2013).....	37
3.5	QUIP	39
3.5.1	QUIP – Ergönenc et al. (2014)	39
3.5.2	QUIP - Keller, Neumann & Fischer (2017)	43
3.6	ProwiN.....	45
3.6.1	ProwiN – Biologie (Förtsch et al., 2016).....	45
3.6.2	ProwiN – Chemie (Tröger et al., 2017)	48
3.6.3	ProwiN – Physik (Cauet, 2016).....	49
3.6.4	ProwiN – Physik (Liepertz, 2017).....	51
3.7	PRIME (2017)	52
3.8	Mahler, Großschedl und Harms (2017).....	55
3.9	Yang, Liu & Gardella Jr. (2020).....	57
3.10	Übersicht und Zusammenfassung der Ergebnisse	59
4	Sachstruktur.....	64
4.1	Darstellung und Beschreibung von Sachstrukturen.....	67
4.1.1	Termini und Relationen	67
4.1.2	Sachstrukturdiagramme	68
4.1.3	Concept-Maps auf Videobasis	72
4.2	Analogiemodelle als Elemente der Sachstruktur.....	74

5	Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht	78
5.1	Lehrpläne – die Ebene staatlicher Lenkung	78
5.1.1	Anfangs-Elektrizitätslehre im bayrischen Lehrplan	80
5.1.2	Anfangs-Elektrizitätslehre im hessischen Lehrplan	80
5.1.3	Anfangs-Elektrizitätslehre im österreichischen Lehrplan	82
5.2	Indirekte Lehrplanwirkungen – Schulbücher	83
5.2.1	Anfangs-Elektrizitätslehre in ausgewählten hessischen Schulbüchern	85
5.2.2	Anfangs-Elektrizitätslehre in ausgewählten österreichischen Schulbüchern	89
5.3	Indirekte Lehrplanwirkungen – Unterrichtskonzepte	94
5.3.1	Unterrichtskonzept nach Muckenfuß und Walz	94
5.3.2	Unterrichtskonzept nach Schwedes und Dudeck	95
5.3.3	Unterrichtskonzept nach Gleixner	96
5.3.4	Unterrichtskonzept nach Koller und Späth	97
5.3.5	Unterrichtskonzept nach Burde	98
5.4	Analogiemodelle im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht	100
5.4.1	Fahrradkettenmodell	100
5.4.2	Stäbchenmodell	102
5.4.3	Offener Wasserkreislauf	102
5.4.4	Geschlossener ebener Wasserkreislauf	104
5.4.5	Rucksackmodell	105
5.4.6	Wärmeleitungsmodell	107
5.4.7	Frankfurter Elektronengasmodell	108
6	Forschungsansatz der empirischen Studie	111
6.1	EPO-EKo als Rahmenprojekt dieser Dissertation	111
6.2	Theoretische Verortung der Dissertation	114
6.3	Forschungsfragen	117
6.3.1	Forschungsfrage 1: Lehrkräftemerkmale und fachlicher Lernerfolg von SchülerInnen	120
6.3.2	Forschungsfrage 2: Lehrkräftemerkmale und Entwicklung des Fachinteresses von SchülerInnen	121
6.3.3	Forschungsfrage 3: Lehrkräftemerkmale und Entwicklung des physikbezogenen Selbstkonzepts von SchülerInnen	122
6.3.4	Forschungsfrage 4: Elemente der Sachstruktur des Anfangs- Elektrizitätslehreunterrichts teilnehmender Lehrkräfte	123
7	Untersuchungsdesign	124
7.1	Durchführung der Studie	128
7.2	Beschreibung der Stichprobe	129
7.2.1	Beschreibung der Lehrkräftestichprobe	129
7.2.2	Beschreibung der Schülerstichprobe	130

7.3	Methodische Grundlagen der Auswerteverfahren	130
7.3.1	Rasch-Modellierung	130
7.3.2	Mehrebenenanalyse	134
7.3.3	Erhebung sachstruktureller Elemente	140
7.3.4	Multidimensionale Skalierung	142
7.4	Beschreibung und Pilotierungsergebnisse der Instrumente für Lehrkräftemerkmale	144
7.4.1	TSPK-Test	144
7.4.2	Pilotierung des TSPK-Tests	150
7.4.3	Beliefs und Selbstwirksamkeitserwartung	152
7.5	Erhobene Merkmale auf Schülerebene in der Hauptstudie	156
7.5.1	Schülerfachwissenstest	157
7.5.2	Interesse und Selbstkonzept der SchülerInnen	160
7.5.3	Weitere Kontrollvariablen	167
7.6	Unterrichtslogbuch & Schülerhefte	168
7.6.1	Beschreibung des Unterrichtslogbuchs	168
7.6.2	Kategoriensystem für die Analyse der thematisierten Inhalte und eingesetzten Analogiemodelle	169
7.6.3	Adaptierung der multidimensionalen Skalierung für die relationale Analyse der thematisierten Inhalte	173
8	Ergebnisse.....	175
8.1	Ergebnisse der Mehrebenenanalysen.....	175
8.1.1	Deskriptive Ergebnisse	176
8.1.2	Individualprädiktoren für fachliche Leistungen im Post-Test.....	179
8.1.3	Prädiktoren auf Klassenebene für fachliche Leistungen im Post-Test 186	
8.1.4	Prädiktoren für die Entwicklung des Fachinteresses	202
8.1.5	Prädiktoren für die Entwicklung des Selbstkonzepts	208
8.2	Ergebnisse der Sachstruktur-Elemente	211
8.2.1	Thematisierte Inhalte im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht	211
8.2.2	Relationen der thematisierten Inhalte im Anfangs- Elektrizitätslehreunterricht	217
8.2.3	Eingesetzte Analogiemodelle im Anfangs- Elektrizitätslehreunterricht	223
9	Beantwortung und Diskussion der Forschungsfragen	227
9.1	Allgemeine Limitationen dieser Dissertationsstudie	227
9.2	Lehrkräftemerkmale und fachlicher Lernerfolg der SchülerInnen	230
9.3	Lehrkräftemerkmale und Entwicklung des Fachinteresses der SchülerInnen	236
9.4	Lehrkräftemerkmale und Entwicklung des physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen	239

9.5	Elemente des sachstrukturellen Angebots der Lehrkräfte	241
10	Fazit und Ausblick.....	250
10.1	Reflexion des Studiendesigns	250
10.2	Zusammenfassung und Ausblick.....	251
11	Danksagungen.....	257
12	Literaturverzeichnis	258
13	Anhang.....	295
13.1	Unterrichtslogbuch	295
13.2	Tests auf Normalverteilung der Schüler-Fachwissenstests	297
13.3	Tests auf Normalverteilung des Fachinteresses der SchülerInnen	298
13.4	Tests auf Normalverteilung des physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen.....	299
13.5	Infit- und Outfitwerte der eingesetzten Testinstrumente und Skalen	300
13.5.1	Infit- und Outfitwerte des TSPK-Tests.....	300
13.5.2	Infit- und Outfitwerte der Skala epistemologische Vorstellungen	300
13.5.3	Infit- und Outfitwerte der Skala Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen.....	301
13.5.4	Infit- und Outfitwerte des Testinstruments zu einfachen Stromkreisen	301
13.5.5	Infit- und Outfitwerte der Skala Interesse am Fach Physik.....	302
13.5.6	Infit- und Outfitwerte der Skala physikbezogenes Selbstkonzept.	302
14	Abbildungsverzeichnis	303
15	Tabellenverzeichnis	308

1 Einleitung

Der dauerhafte und zu jedem Zeitpunkt mögliche Zugriff auf elektrische Energie stellte eine der wichtigsten Veränderungen der menschlichen Gesellschaft in den letzten Jahrhunderten dar. Obwohl Elektrizität und insbesondere der verantwortungsvolle Umgang mit elektrischer Energie gerade in einer digitalisierten Welt des 21. Jahrhunderts eine wesentliche Rolle spielen, erreicht nur ein kleiner Teil an Menschen ein vertieftes Verständnis der elektrischen Grundgrößen wie Stromstärke oder Spannung, selbst direkt nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht.

Im Rahmen des Projekts EPO-EKO (Haagen-Schützenhöfer, Burde, Hopf, Spatz & Wilhelm, 2019) wird daher dem Ziel nachgegangen, auf Basis typischer Schülervorstellungen und bereits bestehender Unterrichtsansätze ein Unterrichtskonzept zu entwickeln, welches einen Beitrag zur Verbesserung der aktuellen Unterrichtspraxis zum Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht leistet. Um eine evidenzbasierte Weiterentwicklung der aktuell gängigen Unterrichtspraxis in Deutschland und Österreich zu unterstützen ist es aber unumgänglich, festzustellen, wie die gelebte Unterrichtspraxis für die am Projekt teilnehmenden Lehrkräfte zum Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht in der siebten und achten Jahrgangsstufe aktuell beschaffen ist. Deshalb soll im Rahmen dieser Dissertationsstudie festgestellt werden, wie diese gelebte Unterrichtspraxis für die teilnehmenden Physiklehrkräfte aussieht und über welche professionsbezogenen Voraussetzungen die Physiklehrkräfte typischerweise verfügen. Neben dieser explorativen Beschreibung der gelebten Unterrichtspraxis ist es ebenso relevant, welche Faktoren auf Klassen- bzw. Lehrkräfteebene zu einem höheren Lernerfolg beitragen. An dieser Stelle ist festzuhalten, dass zum Lernerfolg neben einer Fachwissensentwicklung auch die Entwicklung affektiver Merkmale wie jene des Interesses und des Selbstkonzeptes gezählt werden können.

A priori kann nicht davon ausgegangen werden, dass es so etwas wie einen universalen aktuellen traditionellen Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht gibt. Physiklehrkräfte werden unterschiedlich ausgebildet und entwickeln sowohl durch persönliche als auch durch institutionell organisierte Erfahrungen und Weiterbildungen ihren eigenen Elektrizitätslehreunterricht. Es liegt also die Vermutung nahe, dass der Elektrizitätslehreunterricht im deutschsprachigen Raum in seiner

Gesamtheit einen gewissen Amalgamcharakter aufweist. Neben einem festen Bestandteil werden viele unterschiedliche Ideen, Traditionen und Begriffe von den unterschiedlichen Lehrkräften in ihrem Unterricht umgesetzt. Gleichsam wird aber auch der Elektrizitätslehreunterricht einer Lehrkraft von unterschiedlichen Ideen, Traditionen und Kulturen beeinflusst und geprägt.

Inhalt dieser Arbeit ist es deshalb einerseits, eine globale Beschreibung des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts in Teilen Deutschlands und Österreichs zu liefern. In dieser Beschreibung sollen sowohl die übergreifenden Gemeinsamkeiten als auch die spezifischen Adaptierungen der thematisierten Inhalte als auch eingesetzter Analogiemodelle von einzelnen Physiklehrkräften berücksichtigt werden. Andererseits sollen professionsbezogene Merkmale und Ressourcen von Physiklehrkräften identifiziert werden, die einen Zusammenhang mit der Entwicklung des Fachwissens, des Fachinteresses und des physikbezogenen Selbstkonzeptes der SchülerInnen aufweisen.

Ausgehend von dieser Einleitung werden in den Kapiteln zwei bis fünf die wichtigsten theoretischen Konzepte, die hinter dieser Dissertation stehen, sowie der dahingehend aktuelle Forschungsstand beschrieben.

In Kapitel zwei wird ein Überblick über verschiedene Aspekte professioneller Ressourcen von Lehrkräften gegeben. Neben der Beschreibung von Beliefs und motivationaler Orientierungen von Lehrkräften widmet sich Kapitel 2 vor allem dem Professionswissen von Naturwissenschaftslehrkräften. Als ein zentrales Konzept wird eine spezifische Dimension des Professionswissens beschrieben – Pedagogical Content Knowledge (PCK). Dabei werden auch zwei internationale Modelle vorgestellt, die PCK in einen Unterrichtszusammenhang einordnen.

Auf Basis der Annahme, dass ein stärker ausgeprägtes PCK die Handlungsqualität im Unterricht positiv beeinflusst und damit auch zu einem höheren fachlichen Lernerfolg von SchülerInnen führt, wird in Kapitel drei eine detaillierte Übersicht über quantitative Studien gegeben, die Zusammenhänge zwischen PCK (so wie es in den jeweiligen Studien operationalisiert wurde) und fachlichem Lernerfolg von SchülerInnen untersuchen.

Die Beschreibung der thematisierten Inhalte und eingesetzten Analogiemodelle im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht der an dieser Dissertationsstudie teilneh-

menden Lehrkräfte stellt einen weiteren Fokus der vorliegenden Arbeit dar. Aufgrund fehlender Vorarbeiten auf diesem Gebiet sind die damit korrespondierenden Forschungsfragen explorativ angelegt. Kapitel vier widmet sich daher unterschiedlichen Zugängen, physikalischen Unterricht bzw. dessen Sachstruktur zu visualisieren, darzustellen und zu beschreiben. Außerdem wird auf Analogiemodelle als mögliche Elemente von Sachstrukturen eingegangen, da diese eine besondere Relevanz für das Thema Elektrizität aufweisen.

Die unterrichtliche Sachstruktur des Physikunterrichts wird maßgeblich von den in den jeweiligen Bundesländern und Ländern gültigen Fachlehrplänen und dessen Wirkungen beeinflusst. Deshalb wird im fünften Kapitel der Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht in für diese Studie relevanten Teilen Deutschlands und Österreichs auf curricularer Ebene beleuchtet: Zuerst wird auf die Ebene staatlicher Lenkung im Sinne der Fachlehrpläne eingegangen, anschließend werden auch indirekte Lehrplanwirkungen in Form von Schulbüchern und Unterrichtskonzepten näher beschrieben. Aufgrund der hohen Relevanz von Analogiemodellen für den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht werden schließlich gängige und aus der Literatur bekannte Analogiemodelle vor- und dargestellt.

In Kapitel sechs wird der Forschungsansatz dieser Arbeit beschrieben und theoretisch verortet. Anschließend werden die Forschungsfragen abgeleitet.

Das siebte Kapitel dieser Dissertation widmet sich der Beschreibung des Untersuchungsdesigns dieser Studie. Neben der Beschreibung der Stichprobe dieser Dissertationsstudie werden die für die Ebene der Datenauswertung relevantesten Grundlagen dargestellt. Danach werden auch die Ergebnisse einer Pilotierungsstudie für die eingesetzten Instrumente der professionsbezogenen Lehrkräftemerkmale dargelegt. Außerdem werden die eingesetzten Testinstrumente auf Schülerebene beschrieben.

In Kapitel acht werden die zentralen Ergebnisse dieser Dissertationsstudie dargestellt. Kapitel 8.1 widmet sich den quantitativen Ergebnissen zu Zusammenhängen zwischen Lehrkräftemerkmalen und Kriterien unterrichtlichen Erfolgs. Die Identifizierung von Prädiktoren für den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen anhand einer Mehrebenenanalyse wird ausführlich dargestellt. Damit soll die prinzipielle Vorgehensweise für die Identifizierung des finalen Modells nachvollziehbar gemacht werden. Die resultierenden Modelle, in denen signifikante

Prädiktoren für die Entwicklung des Fachinteresses und physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen identifiziert werden, sind in einer verkürzten jedoch übersichtlichen Art dargestellt. Kapitel 8.2 widmet sich der Beschreibung sachstruktureller Elemente des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts der teilnehmenden Lehrkräfte.

Abschließend werden in Kapitel neun die Forschungsfragen anhand der in Kapitel acht dargestellten Ergebnisse beantwortet und hinsichtlich ihrer Limitationen und Implikationen diskutiert. Zuletzt wird in Kapitel zehn ein Ausblick auf weitere mögliche Forschungsprojekte geliefert, die sich aus dieser Dissertation ergeben könnten.

2 Professionelle Ressourcen von Lehrkräften

Wird *guter Unterricht* auch von *guten Lehrkräften* durchgeführt? Dieser Frage widmet sich die empirische Bildungsforschung seit mehr als sieben Jahrzehnten. Standen anfänglich vor allem allgemeine Persönlichkeitseigenschaften von Lehrkräften im Fokus (Blömeke, 2009), sind es aus gegenwärtiger Perspektive vielmehr (erwerbbares) professionelles Wissen, Einstellungen oder allgemein professionelle Kompetenzen, die als die wesentlichen und relevanten Lehrkräfteresourcen gesehen werden (Helmke, 2015).

Auf einer möglichst allgemeinen, heuristischen Ebene kann der Zusammenhang zwischen Lehrerressourcen und dem Lernerfolg von SchülerInnen mithilfe der Wirkkette schulischer Bildung (Terhart, 2012) beschrieben werden, wie in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Wirkkette schulischer Bildung. Quelle: Vogelsang (2013, S. 20), nach Terhart (2012)

Basierend auf diesem Wirkmodell verfügt eine Lehrkraft über diverse innere Ressourcen (Vogelsang, 2013), die es ihr ermöglichen, derart im Unterricht zu handeln, dass gewünschte Wirkungen auf Schülerseite auftreten (Oser, 2013). Professionelle Ressourcen von Lehrkräften werden dementsprechend als eine der wichtigsten Voraussetzungen für erfolgreichen naturwissenschaftlichen Unterricht angesehen (Abell, 2014; Helmke, 2015; Shulman, 1987). Der Grundgedanke dabei ist, dass der Unterricht einer Lehrperson, die über ein reiches Repertoire dieser Ressourcen verfügt, eine vergleichsweise hohe Qualität aufweist und damit in höheren Lernwirkungen auf Schülerseite resultiert als der Unterricht einer Lehrkraft, die auf weniger derartige Ressourcen zurückgreifen kann.

Diese holistische Betrachtung der Wirkkette schulischer Bildung verhindert einen differenzierten Blick auf schulischen Unterricht und insbesondere den Wirkzusammenhang zwischen Lehrkräfteresourcen, unterrichtlichem Handeln und

Schülerwirkungen. Ein hierzu differenziertes Bild von Unterricht liefern Angebots- und Nutzungs-Modelle, welche neben Lehrkräftemerkmalen weitere Einflussfaktoren sowohl innerhalb als auch außerhalb von Schule miteinbeziehen. Exemplarisch ist an dieser Stelle deshalb das Modell von Helmke (2015) in Abbildung 2 dargestellt.

Kernaussage dieses Modells ist, dass Unterricht in seiner Gesamtheit lediglich ein Angebot darstellt. Dieses Angebot führt also nicht per se zu den intendierten Wirkungen, sondern es sind vor allem Mediationsprozesse auf Lernendenseite, aber auch Einflüsse des schulischen und außerschulischen Kontexts an der Ausprägung der Wirkungen beteiligt. Das Unterrichtsangebot und damit die Unterrichtsqualität selbst wird zum größten Teil durch Lehrkräfte bestimmt. Deren Unterrichtshandeln basiert wiederum auf einer Vielzahl von Faktoren wie dem Professionswissen, der Klassenführungskompetenz, pädagogischen Orientierungen, Erwartungen, Zielen, Engagement sowie Geduld und Humor.

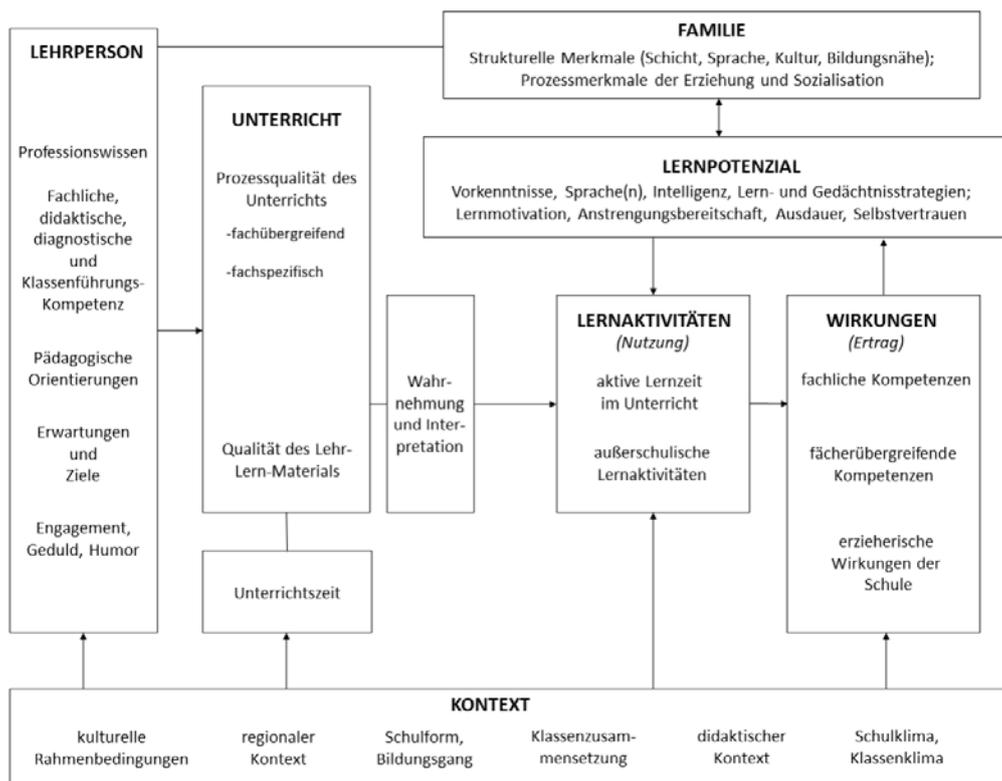


Abbildung 2: Angebots- und Nutzungs- Modell nach Helmke (2015). Quelle: Helmke (2015, S. 71)

Dieses Modell von Helmke oder andere Angebots- und Nutzungsmodelle (z. B. Brühwiler & Blatchford, 2011; Klieme, Lipowsky, Rakoczy & Ratzka, 2006; Seidel, 2011) bildeten in den letzten Jahren die theoretische Fundierung

vieler Forschungsprojekte aus dem naturwissenschaftsdidaktischen Bereich (z. B. Neumann, Fischer & Sumfleth, 2008; Seidel et al., 2006). Derartige empirische Untersuchungen haben es ermöglicht, den Einfluss von Lehrkräfteressourcen auf die Unterrichtsqualität und damit indirekt auf den Lernerfolg im schulischen Unterricht besser abschätzen zu können. Insbesondere in der Naturwissenschaftsdidaktik sind die in diesem heuristischen Modell beschriebenen Wirkmechanismen jedoch noch nicht geklärt, so konnten Zusammenhänge zwischen Lehrkräfteressourcen und Lehrerhandeln nur sehr punktuell nachgewiesen werden (z. B. Cauet, Liepertz, Borowski & Fischer, 2015; Vogelsang, 2013). Um die in Angebots- und Nutzungs- Modellen genannten Ressourcen von Lehrkräften empirisch untersuchen zu können, benötigt es jedoch einer weiteren Ausschärfung dieser Lehrkräfte Merkmale.

Riese (2009) unterscheidet etwa in seinem an Weinert (2001) sowie Baumert und Kunter (2006) angelehnten Modell professioneller Handlungskompetenz (angehender) Physiklehrkräfte zwischen zwei wesentlichen Bereichen: kognitive Fähigkeiten und Professionswissen auf der einen Seite sowie motivationale, volitionale und soziale Bereitschaften und Fähigkeiten auf der anderen Seite, wie in Abbildung 3 dargestellt. Riese (2009) unterscheidet die in Abbildung 3 rechts dargestellten Bereitschaften und Fähigkeiten zudem weiter in Beliefs und motivationale Orientierungen.

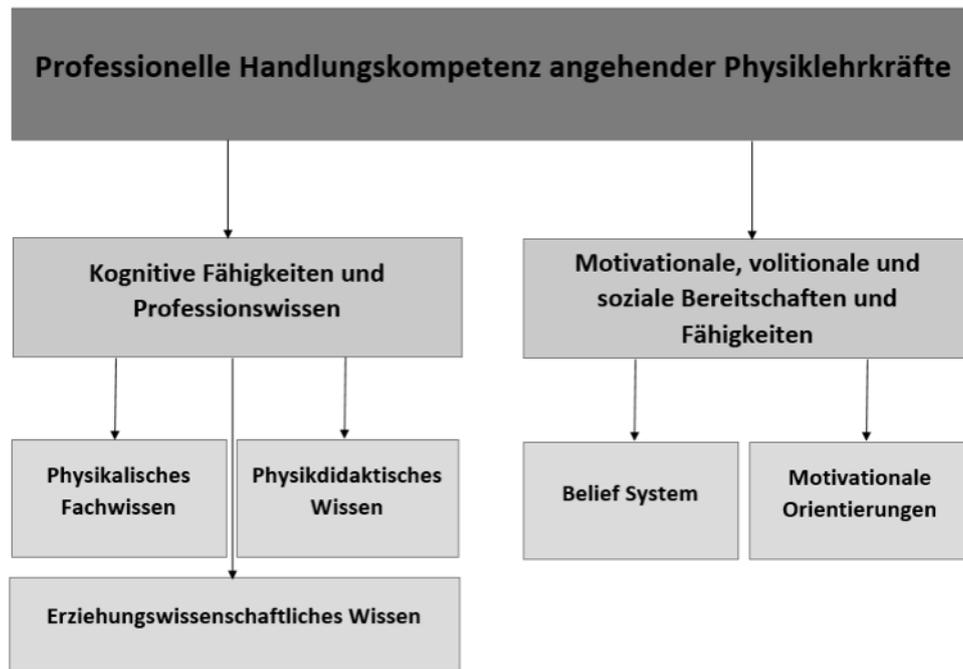


Abbildung 3: Modell professioneller Handlungskompetenz (angehender) Physiklehrkräfte.
Quelle: Riese (2009, S. 26)

Basierend auf dieser Unterscheidung widmet sich Kapitel 2.1 einer näheren Betrachtung des Professionswissens von Naturwissenschaftslehrkräften, wobei ein besonderes Augenmerk auf die unterschiedlichen Konzeptionen des fachdidaktischen Wissens und/oder Pedagogical Content Knowledge von Lehrkräften geworfen wird. Deshalb wird das Konstrukt PCK im Kapitel 2.2 zusätzlich in größeren Wirkzusammenhängen verortet. In Kapitel 2.3 wird beschrieben, was unter Beliefs und Selbstwirksamkeitserwartung als eine zentrale motivationale Orientierung im Allgemeinen aber vor allem in der vorliegenden Dissertation verstanden wird.

2.1 Professionswissen

Nahezu alle empirischen Studien in Bezug auf das Professionswissen von Naturwissenschaftslehrkräften stellen drei Wissensdimensionen als zentral dar. Diese sind Fachwissen, pädagogisches oder auch erziehungswissenschaftliches Wissen und fachdidaktisches Wissen (z. B. Baumert et al., 2010; Cauet et al., 2015; Ergönenc, Neumann & Fischer, 2014; Gess-Newsome et al., 2017; Hill, Rowan & Loewenberg Ball, 2005; Liepertz & Borowski, 2018; Ohle, 2010; Riese, 2009; Riese & Reinhold, 2010; Tepner, Borowski, Dollny et al., 2012).

Neben diesen drei zentralen Dimensionen werden aus den unterschiedlichen Forschungstraditionen heraus teilweise auch weitere Wissensdimensionen zum Professionswissen von Lehrkräften hinzugezählt. So zählen Baumert und Kunter (Baumert et al., 2010) zum Beispiel auch Organisations- und Beratungswissen als weitere Dimensionen auf.

Insgesamt lässt sich jedoch feststellen, dass so gut wie alle aktuellen Professionswissensmodelle zumindest in Anlehnung an Arbeiten von Shulman (1987) entstanden sind, der insgesamt zwischen sieben Wissenskategorien unterschied („content knowledge (CK)“, „general pedagogical knowledge (PK)“, „curriculum knowledge“, „knowledge of learners“, „pedagogical content knowledge“, „knowledge of educational ends“, „knowledge of educational contexts“). Shulman war auch der Erste, der den Begriff des Pedagogical Content Knowledge (PCK) als den Wissensbereich definierte, der Lehrkräfte von Personen anderer Professionen unterscheidet.

Wie Gramzow (2015) in ihrer Dissertation beschreibt ist ein direkter Vergleich oder eine direkte Gegenüberstellung von PCK und dem (im deutschsprachigen Raum gängigen) Begriff des fachdidaktischen Wissens von Lehrkräften schwierig, da beiden unterschiedliche Rahmenkonzeptionen aber auch kulturelle Traditionen zu Grunde liegen. Insbesondere die Einordnung von PCK in Angebots-Nutzungsmodelle (Helmke, 2015) oder dem in Kapitel 2.2.1 beschriebenen TPK&S-Modell unterscheidet sich im deutsch- und englischsprachigen Raum. Das (im deutschsprachigen Raum gängige) fachdidaktische Wissen von Lehrkräften wird zumeist als Teil professioneller Kompetenz von Lehrkräften im Sinne einer Disposition (Blömeke, Gustafsson & Shavelson, 2015) verstanden. In vermehrt im englischen Sprachraum durchgeführten Studien wird PCK jedoch als wesentlich handlungsnäher aufgefasst im Sinne situationsspezifischer Fähigkeiten. Diesem Umstand wird in dieser Dissertation an mehreren Stellen Rechnung getragen. In Kapitel zwei werden die beiden Konzepte fachdidaktisches Wissen und PCK zunächst als synonym betrachtet, um einen generellen Blick auf die aktuelle Forschungsliteratur geben zu können. In Kapitel drei, in dem ein Überblick über Studien zum Zusammenhang von PCK mit Schülerleistungen gegeben wird, wird für jede Studie eine theoretische Verortung des Konzepts PCK dargestellt, um die unterschiedlichen Auffassungen von PCK zu berücksichtigen und in einem Wirkzusammenhang einzuordnen.

Die Frage danach, ob PCK tatsächlich einen eigenen Wissensbereich darstellt oder ob es sich lediglich um eine „Schnittmenge“ von Fachwissen und pädagogischem Wissen handelt, scheint zum aktuellen Zeitpunkt weitestgehend geklärt. Es hat sich gezeigt, dass eine separate Auffassung der Bereiche CK, PCK und PK als sinnvoll erscheint. So konnte in diversen Studien gezeigt werden, dass die eben genannten Wissensdimensionen zwar zusammenhängen, aber als unterschiedliche Konstrukte aufgefasst werden können (Baumert et al., 2010; Blömeke, 2008; Borowski et al., 2010; Gess-Newsome et al., 2017; Großschedl, Harms, Kleickmann & Glowinski, 2015; Kulgemeyer & Riese, 2018; Ohle, 2010; Riese, 2009; Sorge, Kröger, Petersen & Neumann, 2017; Sorge, Keller, Neumann & Möller, 2019; Tepner, Borowski, Fischer et al., 2012).

In der Analyse der Entwicklung dieser Wissensarten im Zuge des Lehramtsstudiums zeigt sich zudem, dass die Ausprägungen der beiden Wissensfacetten PCK und CK mit steigendem Semester stärker zusammenhängen (Krauss, Baumert & Blum, 2008; Sorge et al., 2017). Insgesamt wird außerdem davon ausgegangen, dass CK eine notwendige, nicht jedoch hinreichende Bedingung für die Entwicklung von PCK darstellt (Kind, 2009; Riese, 2009; Sadler, Sonnert, Coyle, Cook-Smith & Miller, 2013; Sorge et al., 2017; van Driel, Jong & Verloop, 2002).

Herrscht in der Literatur über die separate Auffassung der drei Wissensdimensionen CK, PCK und PK weitestgehend Einigkeit, zeigt sich für die Auffassung der inneren Struktur von PCK ein anderes Bild. Basierend auf der ursprünglichen Definition von Shulman (1987) entwickelten sich im Laufe der letzten Jahrzehnte unterschiedlichste Modellierungsansätze von PCK, die sich in unterschiedlichen PCK-Modellen manifestieren (Friedrichsen et al., 2008; Gess-Newsome, 2015; Gramzow, 2015; Kirschner, Tayler, Rollnick, Borowski & Mavhunga, 2015; Magnusson, Krajcik & Borko, 1999; Park & Oliver, 2008; Park & Chen, 2012).

2.1.1 Binnenstruktur fachdidaktischen Wissens

An dieser Stelle wird eine mögliche Konzeptualisierung der Binnenstruktur des fachdidaktischen Wissens als kognitive Disposition von Lehrkräften dargestellt. Der in dieser Dissertation eingesetzte TSPK-Test (siehe Kapitel 7.4.1) basiert auf dem von Gramzow (2015) (weiter-)entwickelten Testinstrument zur Messung des fachdidaktischen Wissens von Physiklehrkräften. Deshalb wird an dieser Stelle exemplarisch die von Gramzow (2015) in ihrer Dissertation beschriebene

innere Struktur des fachdidaktischen Wissens erläutert, welche sich aus drei Dimensionen zusammensetzt. Die erste Dimension beinhaltet die Facetten fachdidaktischen Wissens (Riese, 2009). Die zweite Dimension bezieht sich in Anlehnung an Tepner et al. (2012) und Schmelzing (2010) auf den physikalischen Fachinhalt und die dritte Dimension bezieht sich auf die kognitive Anforderungen der Items (in Anlehnung an Blömeke et al. (2008)). In Abbildung 4 ist das Modell ohne die Dimension der kognitiven Anforderung dargestellt.

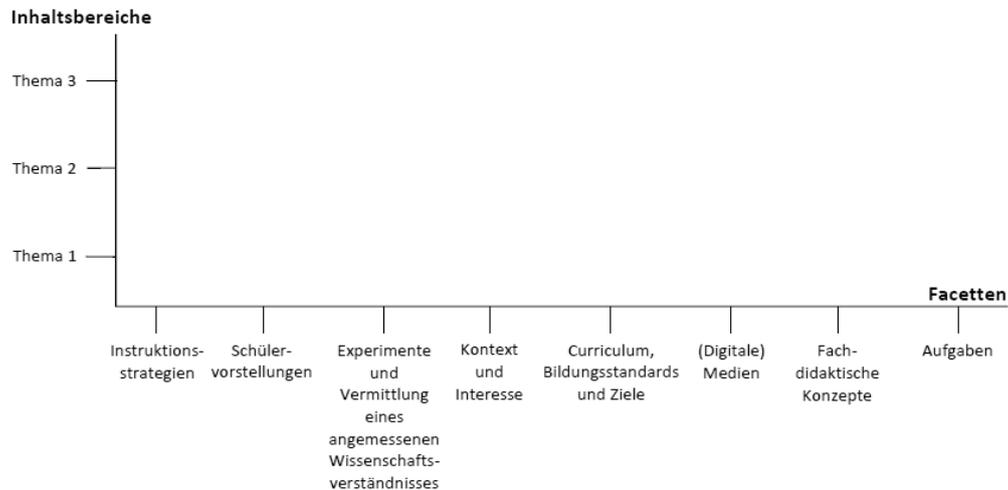


Abbildung 4: Modell des fachdidaktischen Wissens nach Gramzow (2015) basierend auf Riese (2009). Quelle: Gramzow (2015, S. 97)

In dieser Konzeptualisierung setzt sich das fachdidaktische Wissen von Physiklehrkräften aus insgesamt acht Facetten zusammen. Diese Facetten werden im Folgenden überblicksartig beschrieben, eine genauere Beschreibung dieser findet sich in Gramzow (2015).

Die Facette *Instruktionsstrategien* umfasst einerseits Wissen über Beispiele zu bestimmten physikalischen Inhalten und der Beurteilung von gängigen Beispielen unter fachdidaktischen Gesichtspunkten. Andererseits konstituiert sich diese Facette durch Wissen über Darstellungen und Darstellungsformen fachlicher Inhalte. Dazu zählt die Verwendung von Darstellungen unter fachdidaktischen Aspekten (Gramzow, 2015).

Die Facette *Schülervorstellungen* beinhaltet laut Gramzow Wissen über explizite Schülervorstellungen zu konkreten physikalischen Konzepten. Zu Wissen dieser Facette zählt ebenso die Diagnose von Schülervorstellungen anhand von Schü-

leraussagen oder -lösungen, als auch Schülerlösungen und -aussagen anhand typischer Schülervorstellungen zu prognostizieren sowie geeignete Mittel zur Diagnose von Schülervorstellungen auszuwählen (Gramzow, 2015).

Die Facette *Experimente und Vermittlung eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses* umfasst Wissen über „Arten, Funktionen und die Bedeutung von Experimenten im Erkenntnisprozess der Lernenden“ (Gramzow, 2015) aber auch Wissen über „das Vorgehen beim Experimentieren in der Unterrichtssituation“ (Gramzow, 2015, S. 98).

Die Facette *Kontext und Interesse* beinhaltet Wissen über konkrete Interessensbereiche von SchülerInnen im Physikunterricht, aber auch Ansätze zur interessenorientierten Unterrichtsgestaltung (Korneck, Lamprecht, Wodzinski & Schecker, 2010). Hierzu zählt ebenso Wissen über konkrete Anwendungsbereiche und Kontexte im Sinne einer sinnvollen Einbettung in den physikalischen Unterricht wie auch Wissen über Motive und Möglichkeiten der Förderung des Selbstkonzepts im Physikunterricht.

Die Facette *Curriculum, Bildungsstandards und Ziele* beinhaltet einerseits Wissen über das Curriculum und seine Grundsätze, aber auch Wissen darüber, wie Inhalte vor dem Hintergrund von Curricula auszuwählen sind (Gramzow, 2015). Gramzow zählt auch Wissen über Qualitätssicherungen und Bildungsstandards zu dieser Facette.

Die Facette *(digitale) Medien* bezieht sich auf die Mediennutzung im Physikunterricht und damit verbundenen Anforderungen und Möglichkeiten. Dazu gehört neben Wissen über E-Learning auch Wissen über den sinnstiftenden Einsatz digitaler Messwerterfassung und -auswertung aber auch von Simulationen, Modellierungssoftware und dergleichen (Gramzow, 2015).

Die Facette *fachdidaktische Konzepte* beinhaltet Wissen über zentrale lerntheoretische Ansätze für den Physikunterricht, wie zum Beispiel Konzeptwechsel oder Elementarisierungen (siehe Kapitel 4). Auch Wissen über die Aspekte didaktischer Rekonstruktion und Wissen über Methodenkonzeptionen des Physikunterrichts zählt Gramzow (2015) zu dieser Facette.

Die Facette *Aufgaben* bezieht sich auf „Wissen über aufgabenspezifische Bewertungskriterien“ (Gramzow, 2015, S. 102). Diese Facette beinhaltet zudem Wissen darüber, wie Aufgaben sinnvoll in den Unterricht eingebettet und kriterienorientiert beurteilt werden können.

Nach einer globalen Beschreibung der Konstrukte PCK bzw. fachdidaktisches Wissen und einer exemplarischen Beschreibung der inneren Struktur dessen wird das Konstrukt PCK im nächsten Kapitel in größeren Wirkzusammenhängen verortet.

2.2 Consensus-Modelle von PCK

Das Wort Konsens oder im englischen Consensus bedeutet sinngemäß Übereinstimmung oder auch eine übereinstimmende Meinung von unterschiedlichen Personen zu einem bestimmten Thema oder einer bestimmten Frage. Oreskes (2019) argumentiert etwa, dass neu gewonnene wissenschaftliche Erkenntnisse vor allem dann als gesichert betrachtet werden können, wenn in der wissenschaftlichen Gemeinschaft ein Konsens zu einer bestimmten Frage herrscht. Herrscht dieser Konsens nicht nur innerhalb einer bestimmten Kultur oder geographischen Region, sondern auch über kulturelle, geo- und demographische Grenzen hinaus, verstärkt dies das Vertrauen in den wissenschaftlichen Konsens.

Aufgrund der im letzten Abschnitt des vorhergehenden Kapitels beschriebenen Dilemmas unterschiedlicher Rahmenmodelle, Konstrukte und Konzeptualisierungen von PCK und der daraus resultierenden schlechten Vergleichbarkeit von Studien wurde im Jahr 2012 ein erster Versuch gestartet, Konsens in Bezug auf das Konzept von PCK und dessen Verortung in Wirkzusammenhängen zu erreichen. Wie auch von Oreskes (2019) gefordert, wurden dabei Personen aus allen Teilen der Welt eingeladen, um in einer mehrtägigen Veranstaltung (dem PCK-Summit) ein gemeinsames Modell von PCK zu entwerfen (Amanda Berry, Friedrichsen & Loughran, 2015).

2.2.1 Das Model of Teacher Professional Knowledge and Skill (TPK&S)

Als Ergebnis dieses Summits entstand das *Model of Teacher Professional Knowledge and Skill* (TPK&S), siehe Abbildung 5.

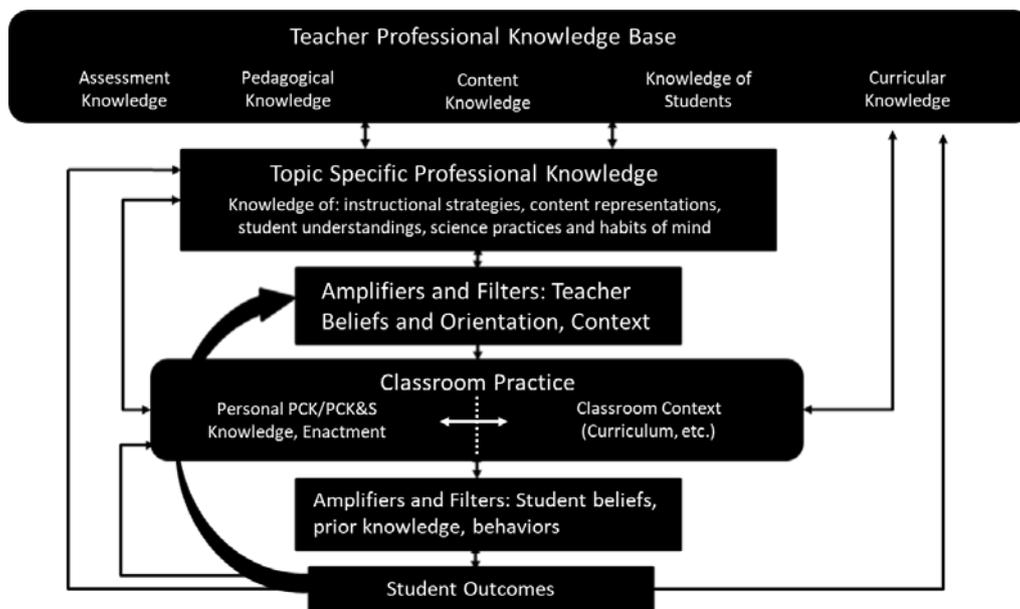


Abbildung 5: Das "Model of Teacher Professional Knowledge and Skill (TPK&S)" nach Gess-Newsome (2015), auch oft als Consensus Model bezeichnet. Quelle: Berry et al. (2015, S. 31)

Das Hauptinteresse der Entwicklung dieses Modells lag in einer Klärung des Konstrukts PCK sowie dessen Einordnung in einem größeren Rahmen schulischen Unterrichts und dessen (theoretischen) Zusammenhangs zu Wirkungen auf Schülerseite. Deshalb wurde dieses Modell auch als theoretischer Rahmen für diese Dissertation gewählt. Als grundlegende Basis für das Professionswissen von Lehrkräften wird in diesem Modell die Teacher Professional Knowledge Base gesehen. Darunter kann allgemeines Professionswissen verstanden werden, welches sich sowohl aus Ergebnissen naturwissenschaftsdidaktischer Forschung als auch aus Best-Practice-Beispielen konstituiert. Neben dieser allgemeinen Wissensbasis wird in diesem Modell eine weitere Wissensart definiert, welche als *Topic Specific Professional Knowledge* (TSPK) bezeichnet wird. Dieses Wissen steht in Interdependenz mit der allgemeinen Teacher Professional Knowledge Base und es sind vor allem drei Faktoren, welche dieses Wissen charakterisieren (Gess-Newsome, 2015):

1. Mit dem Begriff *Topic-Specific* soll klargestellt werden, dass unterrichtliche Inhalte auf einer fachlich-themenspezifischen Ebene (Gess-Newsome nennt hier als Beispiel Kräfte und Bewegungen) zu klären sind, im Gegensatz zu einer Betrachtung auf einer gesamtfachlichen Ebene (zum Beispiel Physik oder Chemie). Neben dieser Themenspezifität wird TSPK auch als spezifisch für das Unterrichten einer bestimmten Jahrgangsstufe gesehen. So wird zwischen einem TSPK für Mechanik in der

- sechsten Jahrgangsstufe und einem TSPK für Mechanik in der 12. Jahrgangsstufe unterschieden.
2. Im Wissensbereich TSPK verschmelzen fachwissenschaftliche und pädagogische Aspekte in Hinblick auf das Unterrichten eines bestimmten Fachthemas. Dazu zählen *Wissen über Instruktionsstrategien*, *Wissen über die Auswahl geeigneter Repräsentationen* oder *Wissen über Schülervorstellungen*. Unklar bleibt in diesem Modell jedoch, wie eine exhaustive Beschreibung von TSPK aussehen könnte.
 3. Dieser Wissensbereich wird als kanonisch aufgefasst, es ist also als Professionswissen, welches durch eine allgemeingültige Auffassung der Community beschrieben wird, aufzufassen. Daher kann es auch eine normative Rolle, zum Beispiel in der Lehramtsausbildung, einnehmen. Durch diesen normativen Charakter als Inhalt der Lehramtsausbildung lassen sich bestimmte Facetten von TSPK vergleichsweise leicht beschreiben.

Ein weiterer zentraler Punkt des TPK&S-Modells ist die klare und explizite Unterscheidung zwischen dem Professionswissen auf der einen Seite und Beliefs oder motivationalen Orientierungen von Naturwissenschaftslehrkräften auf der anderen Seite, wie dies auch bereits Modellen professioneller Handlungskompetenz (z. B. Riese, 2009) dargestellt ist. Dies steht im Gegensatz zur Konzeptualisierung von PCK in früheren Modellen wie zum Beispiel dem von Magnusson et al. (1999) entwickelten. Weiters weist Gess-Newsome wie bereits von Weinert (2001) beschrieben darauf hin, dass ebenjene motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften als sogenannte *amplifiers and filters* (Verstärker und Filter) wirken, wenn es darum geht, Professionswissen in konkreten Fällen für die unterrichtliche Handlung zu nutzen.

Laut dem TPK&S-Modell ist es zudem nur in der tatsächlichen unterrichtlichen Praxis möglich, personal PCK/PCK & skill zu beobachten, zu messen oder zu untersuchen. Der Begriff unterrichtliche Praxis bezieht sich dabei sowohl auf den Akt der Planung von Unterricht, auf das Durchführen einer bestimmten Instruktion, der Reflexion von Unterricht als auch auf spezielle unterrichtliche Tätigkeiten (skills). Personal PCK wird definiert als “the knowledge of, reasoning behind, and planning for teaching a particular topic in a particular way for a particular

purpose to particular students for enhanced student outcomes” (Gess-Newsome, 2015, S. 36).

Zuletzt weist die Autorin darauf hin, dass der Lernerfolg der Lernenden sich nicht allein durch das unterrichtliche Angebot konstituiert, sondern wiederum von den Lernendenvoraussetzungen und dem Kontext beeinflusst wird, ähnlich zu der Konzeptualisierung in Angebots-Nutzungsmodellen (z. B. Helmke, 2015).

Das TPK&S-Modell wurde anschließend einerseits als theoretisches Rahmenkonzept für empirische Studien eingesetzt, es wurden aber andererseits auch bereits vorliegende Ergebnisse im Sinne des TPK&S-Modells re-interpretiert. Das International Journal of Science Education widmete dieser Thematik zum Beispiel eine Spezialausgabe (Gess-Newsome et al., 2017; Kind, 2017; Kind & Chan, 2019; Liepertz & Borowski, 2018; Neumann, Kind & Harms, 2018; Sorge et al., 2017).

2.2.2 Das Refined Consensus Model (RCM)

Die Stärken des TPK&S-Modells liegen vor allem darin, dass unterschiedlichste potenzielle Einflussfaktoren im schulischen Unterricht sowohl auf Lernenden- als auch auf Lehrkräfteseite in Relation gesetzt und theoretische Wirkmechanismen sowie Zusammenhänge dargestellt werden. In Hinblick auf die konkrete Einordnung des Konstrukts PCK in Wirkzusammenhänge zeigen sich zumindest aus Sicht der naturwissenschaftsdidaktischen Community aber auch Probleme. Diese resultierten in einem weiteren „PCK-Summit“, welcher Ende 2016 abgehalten wurde (Carlson & Daehler, 2019). Als zentrales Ergebnis dieses zweiten Summits wurde das *Refined Consensus Model* (RCM) of PCK formuliert.

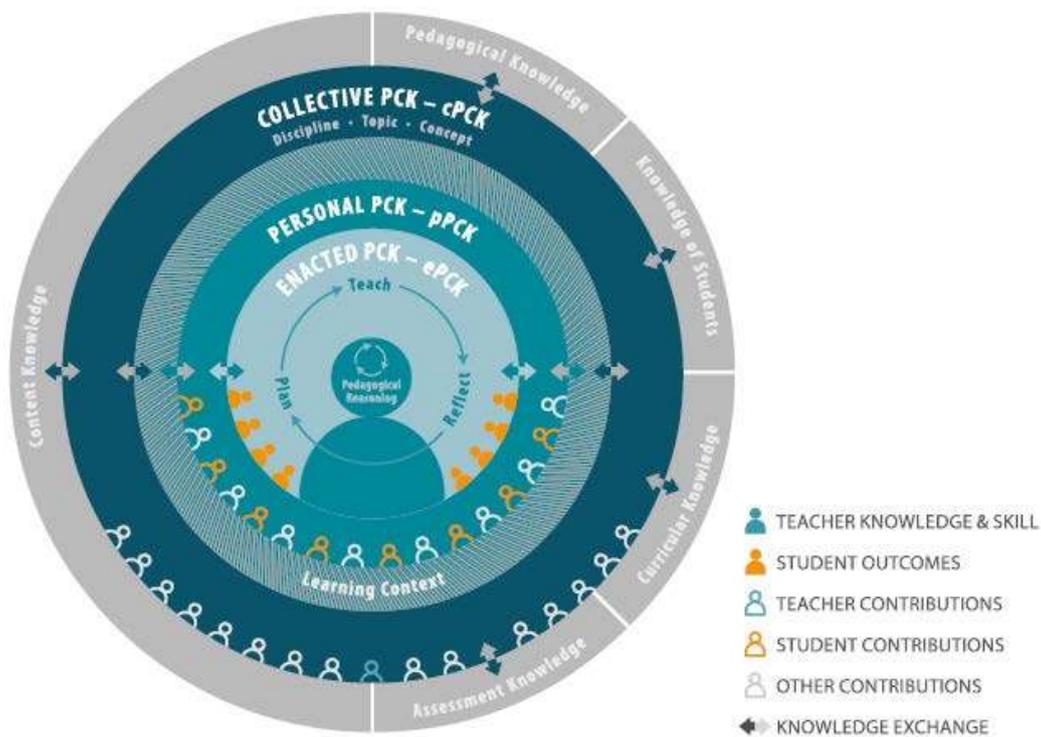


Abbildung 6: Das Refined Consensus Model (RCM) of PCK als Ergebnis des zweiten PCK-Summit. Quelle: Hume, Cooper & Borowski (2019, S. 83)

Das RCM-Modell zeichnet sich durch die Formulierung dreier unterschiedlicher Wissensbereiche aus: collective PCK (cPCK), personal PCK (pPCK) und enacted PCK (ePCK), siehe Abbildung 6. Eine Lehrperson nutzt diesem Modell zufolge enacted PCK während der Planung von Unterricht, während tatsächlichem Unterrichtshandeln und zur Reflexion über Unterricht. Carlson & Daehler (2019) beschreiben ePCK wie folgt:

This ePCK is the specific knowledge and skills utilized by an individual teacher in a particular setting, with a particular student or group of students, with a goal for those students to learn a particular concept, collection of concepts, or a particular aspect of the discipline. (S. 83-84)

Der Wissensbereich ePCK kann am ehesten als eine Erweiterung sowie Präzisierung von „personal PCK/ skill“ im TPK&S Modell aufgefasst werden.

Unter dem Wissensbereich personal PCK (pPCK) einer bestimmten Lehrperson wird in diesem Modell das gesamte, jedoch dynamische PCK dieser Lehrperson aufgefasst. Mit dem Adjektiv dynamisch wird hervorgehoben, dass sich das pPCK einer Lehrkraft im Laufe ihrer Lehrerkarriere weiterentwickelt, wobei unterschiedlichste Quellen die Basis für die Weiterentwicklung darstellen können.

Dazu zählen beispielsweise Erfahrungen mit SchülerInnen, Lehrkräftefortbildungen, Zeitschriftenartikel und Beiträge von LehrerkollegInnen und FachdidaktikerInnen. Das pPCK einer Lehrkraft dient also als Wissens- sowie Fähigkeitsreservoir, auf welches eine Lehrperson während der Planung, Durchführung und Reflexion von Unterricht theoretisch zurückgreifen kann. Für die Unterscheidung der beiden Konstrukte pPCK und ePCK wird davon ausgegangen, dass eine Lehrkraft während unterrichtlichen Handelns nicht auf die Gesamtheit des ihr zur Verfügung stehenden Wissens (pPCK) bzw. auf die Gesamtheit ihrer Fähigkeiten zugreift, sondern auf in der speziellen Situation aktivierte Teilbereiche (ePCK). Für eine genauere Beschreibung siehe Carlson & Daehler (2019).

Unter collective PCK (cPCK) wird das PCK von unterschiedlichen Quellen, sowohl von mehreren Lehrkräften als auch der gemeinsamen naturwissenschaftsdidaktischen Community zu einem bestimmten fachlichen Themengebiet oder auch Unterrichtsfach bezeichnet, obwohl eine exhaustive Beschreibung auch für dieses Modell nicht berichtet wird. cPCK beschreibt also eine Wissensbasis für naturwissenschaftliches Unterrichten und dieses Wissen wird von einer größeren Gruppe an Personen geteilt. Unter dieser größeren Gruppe an Personen kann sowohl eine Physik-Fachgruppe einer bestimmten Schule als auch die gesamte physikdidaktische Community verstanden werden. cPCK wird insofern mit dem ursprünglich von Lee Shulman (1987) eingeführten Begriff von PCK in Verbindung gebracht. Außerdem wird in diesem Modell zwischen unterschiedlichen Körnungen von cPCK unterschieden: von disziplin- über themen- bis hin zu einem konzeptspezifischen cPCK.

Im Buch „Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers’ Knowledge for Teaching Science” (Hume et al., 2019) werden neben der Beschreibung des RCM auch bereits durchgeführte Studien im Sinne des RCM reinterpretiert (z.B. Alonzo, Berry & Nilsson, 2019; Carpendale & Hume, 2019; Park & Suh, 2019).

Trotz der unterschiedlichen Konzeptualisierungen von PCK lässt sich insgesamt festhalten, dass alle (hier angeführten) entwickelten Modelle (z. B. Carlson & Daehler, 2019; Gess-Newsome, 2015; Magnusson et al., 1999; Park & Oliver, 2008; Pitjeng-Mosabala & Rollnick, 2018; Riese, 2009; Rollnick, Bennett, Rhemtula, Dharsey & Ndlovu, 2008; Shulman, 1987; Tepner, Borowski, Dollny et al., 2012) die Wichtigkeit von PCK für guten Naturwissenschaftsunterricht

hervorheben und PCK somit als die zentrale Wissensbasis für Lehrkräfte darstellen.

Bisher bleibt dieser Zusammenhang von PCK mit Unterrichtsqualität oder ePCK mit Leistungen von SchülerInnen jedoch eher auf einer theoretischen Ebene verhaftet, die Befundlage in der Naturwissenschaftsdidaktik in Bezug auf den Einfluss von PCK auf Lernzuwächse von SchülerInnen ist bestenfalls unentschlossen. Konnten zum Beispiel Sadler et al. (2013) einen positiven Zusammenhang zwischen dem PCK von Naturwissenschaftslehrkräften und Schülerlernerfolgen feststellen, fanden andere diesen Zusammenhang nicht (z. B. Gess-Newsome et al., 2017). Wiederum andere Studien stellten gar einen negativen Zusammenhang fest (Liepertz & Borowski, 2018).

Chan und Hume (2019) argumentieren, dass diese unterschiedlichen Studienergebnisse nicht zuletzt auf die unterschiedlichen Konzeptualisierungen von PCK einerseits, aber auch die unterschiedlichen Designs in den Studien zurückzuführen sind. Hierbei reichen zum Beispiel die eingesetzten Erhebungsmethoden von schriftlichen Testinstrumenten (z. B. Cauet et al., 2015; Keller, Neumann & Fischer, 2017) über die Analyse von schriftlichen Kommentaren von Lehrkräften in Bezug auf Videoausschnitte ihres eigenen Unterrichts (Kanter & Konstantopoulos, 2010) bis hin zur Analyse von schriftlichen Reflexionen von Lehrkräften und Ausschnitten videographierten Unterrichts (Gess-Newsome et al., 2017). Ein weiterer Grund für diese unterschiedlichen Studienergebnisse kann darin gesucht werden, dass vor allem die Wirkzusammenhänge zwischen dem Professionswissen und dem Handeln bzw. der Unterrichtsqualität von Lehrkräften (im RCM-Modell zwischen pPCK und ePCK) noch nicht geklärt ist (vgl. Kulgemeyer & Riese, 2018).

2.3 Beliefs und motivationale Orientierungen

Neben dem Professionswissen von Lehrkräften spielen vor allem auch Einstellungen, Vorstellungen, Überzeugungen und Orientierungen eine wichtige Rolle dafür, wie Lehrkräfte naturwissenschaftlichen Unterricht planen, durchführen und letztendlich auch darüber reflektieren. Deshalb wird im Zuge dieser Dissertation der indirekte Zusammenhang von Beliefs auf Lehrkräfteebene mit der Entwicklung des fachlichen Wissens, Fachinteresses und physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen (mediert über den Unterricht) untersucht. In diesem

Kapitel wird geklärt, was innerhalb dieser Arbeit unter den Begriffen *Beliefs* und Selbstwirksamkeitserwartung verstanden wird. In Kapitel 2.3.1 eine spezifische Art von Lehrkräftebeliefs auf theoretischer Ebene näher beschrieben, die im Zuge dieser Dissertation untersucht werden. In Kapitel 2.3.2 wird schließlich dargelegt, welche spezifische Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Fokus dieser Arbeit steht.

2.3.1 Beliefs

Obwohl die Untersuchung von (Lehrkräfte-)Beliefs eine lange Tradition in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung hat, lässt sich bis heute keine final eindeutige Definition des Begriffs *Beliefs* finden. Pajares (1992) beschreibt Beliefs als „messy construct“, unter dem viele unterschiedliche Ideen zusammengefasst werden. So werden etwa im deutschsprachigen Raum unterschiedliche Begriffe und Definitionen synonym verwendet, wie zum Beispiel Überzeugungen, Haltungen, Einstellungen, Auffassungen, Vorstellungen, subjektive oder auch implizite Theorien (Köller, Baumert & Neubrand, 2000; Krumphals, 2017; Markic & Eilks, 2007; C. T. Müller, 2004).

In Anlehnung an Markic & Eilks (2007) sowie Fischler (2001) werden innerhalb dieser Arbeit Beliefs synonym mit dem Begriff Vorstellungen aufgefasst. Markic (2008) definiert Beliefs folgendermaßen:

Beliefs are separated from knowledge and refer to all mental representations that teachers or student teachers hold (consciously and unconsciously) in their minds that influence, to a certain extent, their (potential) behavior as teachers of Science. From this perspective, all Beliefs are personal constructs influenced by experience, knowledge and societal backgrounds (S. 11)

Aus dieser Definition wird klar, dass Beliefs eine wesentliche Bedeutung für naturwissenschaftliche Unterrichtsprozesse im Allgemeinen darstellen. Dies gilt sowohl für die Planung von Unterricht, die Auswahl von Inhalten, die Wahrnehmung unterrichtlicher Situationen als auch die Auswahl von konkreten Handlungsoptionen (Blömeke, Kaiser & Lehmann, 2010; Hashweh, 1996; Hofer, 2001; Keys & Bryan, 2001; Kunter, Baumert & Blum, 2011; McDiarmid, Ball & Anderson, 1989; Richardson, 1996). Beliefs werden dabei als Brücke zwischen Wissen und Handeln konzeptualisiert (Gess-Newsome, 2015) und damit auch als

indirekte Einflussfaktoren auf schulischen Lernerfolg von SchülerInnen (Blömeke, 2008; Pamuk, Sungur & Oztekin, 2017; Staub & Stern, 2002).

Generell lassen sich Beliefs von Lehrkräften in unterschiedliche Bereiche differenzieren, wobei diese Unterscheidungen auf einer eher heuristischen Basis getroffen werden (Bromme, 1994; Furinghetti & Pehkonen, 2006; Riese, 2009). In Anlehnung an Riese (2009) werden im Zuge dieser Dissertation Lehrkräftebeliefs bezogen auf einen Themenkomplex aufgrund derer besonderer Relevanz für den naturwissenschaftlichen Unterricht erhoben sowie deren Zusammenhang mit der Entwicklung von Schülervariablen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht untersucht: epistemologische Vorstellungen zum Lernen und Lehren von Physik.

Unter epistemologischen Vorstellungen wird im Zuge dieser Dissertation verstanden, inwieweit die an der Studie teilnehmenden Lehrkräfte ein eher rezeptives oder konstruktivistisches Verständnis von Lernprozessen (Riese, 2009) im Physikunterricht haben. In einigen Studien konnte gezeigt werden, dass insbesondere Beliefs über das Lehren und Lernen (im Sinne einer konstruktivistischen Auffassung) einen positiven Zusammenhang mit dem Lernerfolg von SchülerInnen aufweisen, sowohl hinsichtlich des fachlichen Lernerfolgs (Staub & Stern, 2002) als auch in Bezug auf motivationale Variablen (Hartinger, Kleickmann & Hawelka, 2006; Keller et al., 2017).

2.3.2 Selbstwirksamkeitserwartung als motivationale Orientierung

Neben Beliefs von Lehrkräften wird vor allem auch Selbstwirksamkeitserwartungen von Lehrkräften eine außerordentliche Rolle in Bezug auf ihr unterrichtliches Handeln zugesprochen. Dieses Konstrukt zählt auch zu einer der am besten dokumentierten Ressource von Lehrkräften (Henson, Kogan & Vacha-Haase, 2001).

Der Begriff der *Selbstwirksamkeitserwartung* entstammt (so wie der Begriff innerhalb dieser Arbeit verwendet wird) der sozial-kognitiven Theorie von Bandura (Bandura, 1986, 1989, 1997), deren Grundannahme letztendlich darin besteht, dass Menschen (unter der Berücksichtigung weiterer Faktoren) gezielten Einfluss auf ihre eigenen Handlungen nehmen können. Die Aufnahme einer Handlung ist wiederum von der eigenen Überzeugung in die Wirksamkeit abhängig.

Bandura (1997) beschreibt Selbstwirksamkeitserwartung allgemein derart: “Perceived self-efficacy refers to beliefs in one’s capabilities to organize and execute the course of action required to produce given attainments” (S. 3). Aus dieser Definition heraus wird auch klar, dass eine Selbstwirksamkeitserwartung immer einen speziellen Handlungsbezug aufweist und dadurch auf indirekte Weise eine gewisse Domänen- und Situationsspezifität (Meinhardt, 2018). Aus diesem Grund wird im Zuge dieser Dissertation der indirekte Zusammenhang einer spezifischen Selbstwirksamkeitserwartung in einem konkreten physikdidaktischen Handlungsfeld mit der Entwicklung von Schülervariablen untersucht. Als Arbeitsdefinition für Lehrer-Selbstwirksamkeitserwartungen in physikdidaktischen Handlungsfeldern formuliert Meinhardt (2018):

Lehrer-Selbstwirksamkeitserwartungen in physikdidaktischen Handlungsfeldern angehender und erfahrener Physiklehrkräfte beziehen sich auf die Selbsteinschätzung genannter Personen, komplexe unterrichtliche Handlungen planen und durchführen zu können, auch wenn sich Widerstände in den Weg stellen (S. 184).

In dieser Dissertation wird der indirekte Zusammenhang ausgewählter Lehrkräftemerkmale mit der Entwicklung von Schülervariablen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht untersucht. Die Anfangs-Elektrizitätslehre stellt für SchülerInnen ein besonders schwieriges Thema dar und es liegen auch gut erforschte empirische Ergebnisse zu Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre vor (z. B. McDermott & Shaffer, 1992; Rhöneck, 1986; Schecker, Wilhelm, Hopf & Duit, 2018; Shipstone et al., 1988; Urban-Woldron & Hopf, 2012; Wilhelm, Müller & Burde, 2015). Neben dem Wissen von Lehrkräften über Schülervorstellungen wird im Zuge dieser Studie daher auch der Zusammenhang der Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen mit Schülervariablen untersucht.

Nach diesem kompakten Überblick über Beliefs und Selbstwirksamkeitserwartungen von Lehrkräften wird im nächsten Kapitel detaillierter auf die Relevanz des Professionswissens von Naturwissenschaftslehrkräften für unterrichtlichen Erfolg eingegangen.

3 Zusammenhang von PCK mit fachlichen Schülerleistungen in der Naturwissenschaftsdidaktik

Im Rahmen dieser Dissertation wird untersucht, ob sich das TSPK der Lehrkräfte (Gess-Newsome, 2015) als signifikanter Prädiktor (indirekt über die Qualität des Unterrichts) für den fachlichen Lernerfolg von SchülerInnen herausstellt. Aufgrund der in Kapitel 2.1 dargestellten unterschiedlichen Zugänge zu PCK sowohl aus theoretischer als auch forschungsmethodischer Sicht wird in diesem Kapitel eine Übersicht über quantitative Studien dargestellt, die den Zusammenhang von PCK mit fachlichem Lernerfolg im naturwissenschaftlichen Unterricht untersuchen. Neben der Beschreibung der Ergebnisse der jeweiligen Studien wird eine Übersicht darüber gegeben, wie das PCK der Lehrkräfte sowohl auf theoretischer als auch methodischer Ebene konzeptualisiert und erhoben wurde, aber auch wie das derart erhobene PCK in schulische Wirkmodelle eingeordnet werden kann.

Die in diesem Kapitel beschriebenen Studien unterscheiden sich in der Art und Weise, wie die Ergebnisse disseminiert wurden. Die meisten Studien wurden in Form von Forschungsartikeln in internationalen Fachzeitschriften veröffentlicht – die Ergebnisse wurden dementsprechend kompakt auf weniger als 30 Seiten beschrieben. Andere in diesem Kapitel beschriebene Studien wurden auch in Form von Dissertationen veröffentlicht, welche eine weitaus detailliertere Beschreibung des theoretischen Rahmens, des Studiendesigns als auch der Ergebnisse selbst ermöglichten. Trotz dieses unterschiedlichen Informationsgehalts, welchen die diversen Disseminationsstrategien implizieren, wurde versucht, eine möglichst vergleichbare Beschreibung der Studien zu gewährleisten.

Die Strukturierung der einzelnen Unterkapitel folgt daher immer demselben Muster: Zuerst werden das Studiendesign und die Stichprobe der empirischen Untersuchung beschrieben. Danach wird ein Überblick über die theoretische Verortung des erhobenen PCK (bzw. dem zu PCK verwandten Konstrukt) gegeben, gefolgt von der Beschreibung der Operationalisierung des PCK der Lehrkräfte sowie des fachlichen Lernerfolgs der SchülerInnen im Zuge der empirischen Studie. Den Abschluss der jeweiligen Unterkapitel bildet eine Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse der jeweiligen Studien und dessen Einordnung in schulische Wirkmodelle mit einem speziellen Fokus darauf, ob sich das PCK (so wie es in

3 Zusammenhang von PCK mit fachlichen Schülerleistungen in der Naturwissenschaftsdidaktik
den Studien operationalisiert wurde) als signifikanter Prädiktor für den fachlichen Lernerfolg herausstellt.

3.1 PLUS (2010)

Im Rahmen des DFG-Projekts „Professionswissen von Lehrkräften, naturwissenschaftlicher Unterricht und Zielerreichung im Übergang von der Primar- zur Sekundarstufe (PLUS)“ (Lange, 2010; Lange, Kleickmann, Tröbst & Möller, 2012; Lange et al., 2015; Ohle, 2010) wurde der Zusammenhang zwischen dem fachspezifisch-pädagogischen Wissen von Lehrkräften und Schülerleistungen anhand von insgesamt 60 Grundschullehrkräften und deren insgesamt 1236 SchülerInnen untersucht. Gegenstand der Untersuchung waren dabei der physikbezogene Sachunterricht am Ende der Grundschulzeit sowie der physikbezogene Anfangsunterricht der Sekundarstufe. Dazu wurden die teilnehmenden Lehrkräfte gebeten, in ihren Klassen das Thema *Aggregatzustände und ihre Übergänge am Beispiel Wasser* im Umfang von ca. sechs Unterrichtsstunden zu bearbeiten (Lange et al., 2012). Die Schülervariablen wurden dabei in einem Prä-Post Design erhoben, das fachspezifisch-pädagogische Wissen wurde nach dem Unterricht zum Thema erhoben.

Als theoretisches Rahmenmodell stellt Lange in ihrer Dissertation ein Arbeitsmodell vor, welches an das Modell von Magnusson et al. (1999) angelehnt ist. Sie beschreibt das fachspezifisch-pädagogische Wissen als „Wissen darüber, wie man naturwissenschaftliche Fachinhalte für die unterrichtliche Gestaltung in fruchtbare Lerngelegenheiten, die Schülern das Verständnis naturwissenschaftlicher Konzepte ermöglichen, übersetzen kann“ (Lange, 2010, S. 77-78).

Dieses fachspezifisch-pädagogische Wissen konstituiert sich aus fünf unterschiedlichen Komponenten, die in Abbildung 7 dargestellt sind. Die Komponenten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer inhaltlichen Themenspezifität. Die Komponente Vorstellungen zum Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften ist eine generelle, themenunabhängige Komponente. Die weiteren vier in Abbildung 7 dargestellten Komponenten weisen einen konkreten inhaltlichen Themenbezug auf.

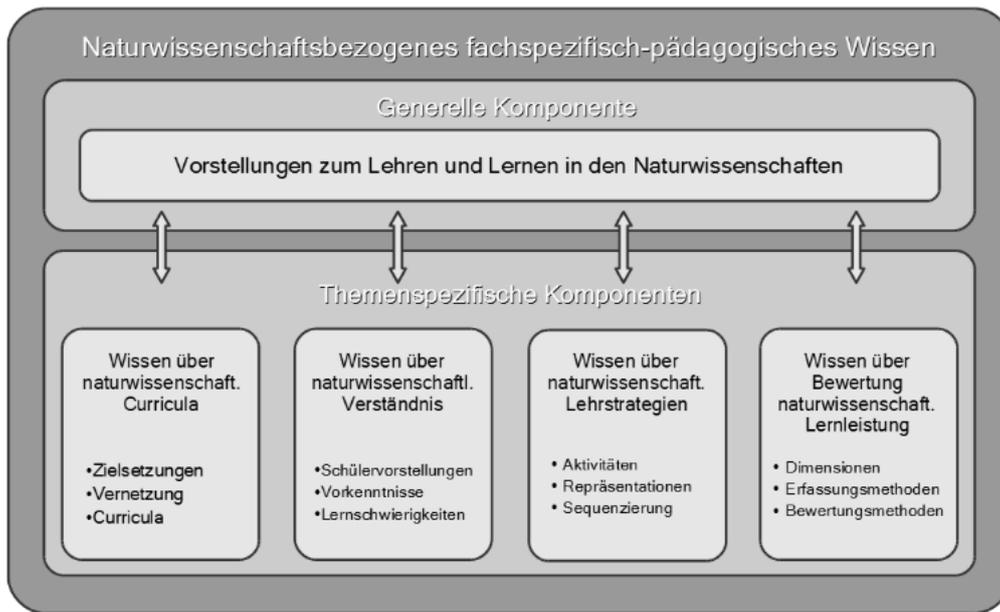


Abbildung 7: Modell des naturwissenschaftsbezogenen fachspezifisch-pädagogischen Wissens. Quelle: Lange (2010, S. 80)

In der empirischen Studie wurde das fachspezifisch-pädagogische Wissen der Lehrkräfte (in Lange et al. (2012) als fachdidaktisches Wissen bezeichnet) mit einem schriftlichen Test bestehend aus Items mit offenem und geschlossenem Antwortformat erhoben (Lange, 2010). In Bezug auf den fachlichen Inhaltsrahmen ist anzumerken, dass sich alle Items auf das fachlich-inhaltliche Thema *Aggregatzustände und ihre Übergänge am Beispiel Wasser* bezogen. Insgesamt bestand das Testinstrument aus 24 Items mit jeweils bis zu sechs Einzelantwortalternativen bei den geschlossenen Fragen. Die interne Konsistenz des Instruments zeigte für die 60 befragten Grundschullehrkräfte ein Cronbachs Alpha von $\alpha = .67$.

Der Test bezog sich auf zwei der fünf oben angeführten Komponenten (teilweise auch als Facetten bezeichnet). In der Dissertationsstudie werden diese beiden Komponenten in der theoretischen Beschreibung des Modells als *Wissen über naturwissenschaftliches Verständnis von Schülern* sowie *Wissen über naturwissenschaftliche Lehrstrategien* bezeichnet. In der Operationalisierung des Testinstruments werden diese beiden Komponenten, jedoch ohne die Angabe von weiteren Gründen als *Wissen über Bedingungen verständnisvollen naturwissenschaftlichen Lernens* sowie *Wissen über naturwissenschaftliche Lehrstrategien* bezeichnet. In einer späteren Publikation (Lange et al., 2012) werden diese bei-

den Komponenten (Facetten) schließlich als *Wissen über Bedingungen des Lernens* und *Wissen über instruktionale Aktivitäten* bezeichnet. In Tabelle 1 ist eine Übersicht der unterschiedlichen Bezeichnungen dargestellt, im Weiteren werden die Bezeichnungen aus Lange et al. (2012) zur Beschreibung verwendet.

Items, welche der Komponente *Wissen über Bedingungen des Lernens* zuzuordnen sind, beinhalteten zweierlei Fragestellungen. Einerseits wurden die Lehrkräfte aufgefordert, alle ihnen bekannten typischen Schülervorstellungen zu jeweils einem bestimmten naturwissenschaftlichen Phänomen pro Item aufzuzählen, andererseits wurden die Lehrkräfte gebeten, Schüleraussagen hinsichtlich ihrer fachlichen Angemessenheit oder ihrer Anschlussfähigkeit einzuordnen (Lange, 2010).

Tabelle 1: Bezeichnungen zweier Komponenten des fachspezifisch-pädagogischen Wissens von Lehrkräften, die in der Dissertationsstudie von Lange (2010) untersucht wurden.

	Lange 2010 (theoretisches Modell)	Lange 2010 (Operationalisierung und Modellierung)	Lange et al. 2012
Komponente 1	<i>Wissen über naturwissenschaftliches Verständnis von Schülern</i>	<i>Wissen über Bedingungen verständnisvollen naturwissenschaftlichen Lernens</i>	<i>Wissen über Bedingungen des Lernens</i>
Komponente 2	<i>Wissen über naturwissenschaftliche Lehrstrategien</i>	<i>Wissen über naturwissenschaftliche Lehrstrategien</i>	<i>Wissen über instruktionale Aktivitäten</i>

In Items, welche der Komponente *Wissen über instruktionale Aktivitäten* zugeordnet wurden, wurden den Lehrkräften Unterrichtssituationen geschildert, zu denen sie „geeignete Versuche zur Unterstützung der Verständnisprozesse in Bezug auf ein bestimmtes Lernziel skizzieren sollten“ (Lange 2010, S. 115).

Die Lehrkräfte des Samples wurden bei jedem Item gebeten, mehrere geeignete Versuche zu skizzieren. Jedes Item bezog sich dabei auf eine andere Unterrichtssituation. Außerdem wurden in weiteren Items Versuche vorgestellt, die von den Befragten hinsichtlich bestimmter Kriterien zu bewerten waren. In einer dritten Art von Items mussten die Lehrkräfte unterrichtliche Planungssituationen hinsichtlich des benötigten Vorwissens auf Schülerseite einschätzen.

Der Leistungstest für SchülerInnen zum Thema *Aggregatzustände* umfasste ebenso 24 Items mit bis zu sechs Einzelantwortalternativen bei geschlossenen Fragen. Zusätzlich wurden als Kontrollvariablen auf Individualebene der SchülerInnen das Vorwissen zum Thema *Aggregatzustände*, die kognitiven Grundfähigkeiten mit zwei Subskalen des CFT 20-R (Weiß, 2005), der familiäre, sozio-ökonomische Status, die Erstsprache und das Geschlecht erhoben. Auf Klassenebene wurden die Unterrichtszeit in Minuten, die Effizienz der Klassenführung, das Sachinteresse der Lehrkräfte sowie die Berufserfahrung der Lehrkräfte in Dienstjahren kontrolliert. Die Effizienz der Klassenführung wurde mittels einem Instrument zur Erfassung der Schülerwahrnehmung der Klassenführung (Fricke, Kauertz & Fischer, 2010) erhoben.

Als Gesamtergebnis der Mehrebenenanalyse unter Kontrolle oben angeführter Variablen zeigte sich, dass das fachspezifisch-pädagogische Wissen bzw. fachdidaktische Wissen der Lehrkräfte einen signifikanten Prädiktor für die Lernfortschritte der SchülerInnen darstellt. Außerdem zeigte sich in einem Mehrebenenmodell, welches das fachspezifisch-pädagogische Wissen der Lehrkräfte beinhaltet, ein signifikant positiver Effekt der Dienstjahre der Lehrkräfte auf den Lernerfolg ihrer SchülerInnen. In einer Analyse ohne den Prädiktor fachspezifisch-pädagogisches Wissen zeigt sich dieser Effekt nicht.

Insgesamt lässt sich für diese Studie zusammenfassen, dass:

- (1) das fachspezifisch-pädagogische Wissen mittels eines schriftlichen Tests erhoben wurde,
- (2) also der indirekte Zusammenhang zwischen dem pPCK der Lehrkräfte und fachlichem Lernerfolg untersucht wurde,
- (3) *Wissen über Bedingungen des Lernens* und *Wissen über instruktionale Aktivitäten* erhoben wurden,
- (4) sich alle Items des Tests auf ein inhaltliches Themengebiet bezogen,
- (5) mithilfe von Mehrebenenmodellen analysiert wurde,
- (6) mehrere Kontrollvariablen auf Schüler- (Vorwissen, kognitive Fähigkeiten, sozio-ökonomischer Status, Erstsprache, Geschlecht) und Klassenebene (Unterrichtszeit, Effizienz der Klassenführung, Sachinteresse, Dienstjahre) berücksichtigt wurden und
- (7) sich das fachspezifisch-pädagogische Wissen der Lehrkräfte als signifikanter Prädiktor des fachlichen Lernfortschritts der SchülerInnen zeigte.

3.2 I, Bio (2010)

Kanter und Konstantopoulos untersuchten 2010 in einer Studie den Zusammenhang eines projektbasierten Naturwissenschaftscurriculums mit dem Lernerfolg, den Einstellungen von Lernenden zu Naturwissenschaften und deren Plänen, eine Karriere in den Naturwissenschaften zu verfolgen. Dabei wurde ebenso untersucht, inwiefern das CK sowie PCK der teilnehmenden Lehrkräfte mit der Entwicklung des Fachwissens ihrer SchülerInnen zusammenhängen.

Insgesamt nahmen an dieser Studie neun Naturwissenschaftslehrkräfte mit SchülerInnen der sechsten bis achten Jahrgangsstufe in den USA teil. Die teilnehmenden Lehrkräfte wurden im Zuge dieser Studie gebeten, ein projektbasiertes Curriculum I, Bio (Kanter, 2009) in ihrem Unterricht umzusetzen. Die übergreifende Frage dieses Curriculums lautet: „What will it take to redesign our school lunch choices to meet our bodies’ needs?“ (Kanter & Konstantopoulos, 2010, S. 860).

Die Implementierung des I, Bio-Curriculums wurde von einer Lehrkräftefortbildung begleitet, welche ein wöchentliches Treffen zu je ca. drei Stunden über einen Zeitraum von 10 Wochen beinhaltete. Ziel dieser Fortbildung war es, für das I, Bio-Curriculum relevante Teilbereiche des CK und PCK der Lehrkräfte zu stärken. Das PCK der Lehrkräfte wurde sowohl vor als auch nach der Umsetzung des Curriculums gemessen, die Schülervariablen wurden in einem Prä-Post-Design erhoben. Für die Analyse des Zusammenhangs des PCK der Lehrkräfte mit dem Lernerfolg ihrer SchülerInnen wurden die Post-Messungen des PCK herangezogen.

Als theoretisches Rahmenkonzept für die Erhebung des PCK der Lehrkräfte verweisen die Autoren auf das Modell von Magnusson et al. (1999).

Dabei wird auf folgende vier der fünf PCK-Facetten des Magnusson-Modells Bezug genommen:

- *Knowledge of science curricula*
- *Knowledge of students ‘understanding of science*
- *Knowledge of science instructional strategies*
- *Knowledge of science assessments*

Kanter und Konstantopoulos streichen heraus, dass der Fokus ihrer Studie nicht darauf liegt, theoretisch verfügbares Wissen zu messen, sondern ebenjenes Wissen, auf welches Lehrkräfte tatsächlich bei der Reflexion von eigenen unterrichtlichen Tätigkeiten zugreifen.

Aus diesem Grund greifen Kanter und Konstantopoulos auf ein eigens entwickeltes PCK-Instrument zurück, in welchem die teilnehmenden Lehrkräfte im Rahmen der Umsetzung des I, Bio-Curriculums entstandene Videos ihres Unterrichts analysieren und schriftlich in der Form eines Essays beschreiben müssen. In dieser schriftlichen Analyse wurden die Lehrkräfte dazu angehalten, bestimmte „Episoden“ in den jeweiligen Unterrichtsvideos hervorzuheben und zu beschreiben. Diese „Episoden“ sollten drei Teile beinhalten:

1. Die Lehrkraft schreibt über eine spezifische Aussage eines Schülers oder einer Schülerin in dem analysierten Video des eigenen Unterrichts, aus der ersichtlich wird, wie diese/r SchülerIn über ein naturwissenschaftliches Konzept denkt.
2. Die Lehrkraft beschreibt, wie der/die SchülerIn über dieses naturwissenschaftliche Konzept denkt sowie ersichtliche, damit verknüpfte Ideen. Weiters beschreibt sie/er Möglichkeiten, wie der/die SchülerIn diesen Denkraum nutzen kann, um Probleme zu lösen.
3. Die Lehrkraft beschreibt eine adäquate Reaktion der Lehrkraft auf die spezifische Aussage des Schülers/der Schülerin, um das „level of understanding“ (Kanter & Konstantopoulos, 2010, S. 864) der/des Lernenden festzustellen inklusive einer sinngemäßen Rechtfertigung dieser Reaktion.

Diese schriftliche Beschreibung von Episoden war jedoch nicht nur Teil des PCK-Instruments, sondern wurde auch als Analysetool für den eigenen Unterricht der Lehrkräfte im Zuge der Lehrerfortbildungen eingesetzt. Die Lehrkräfte wurden also auch darin trainiert, derartige Episoden zu verfassen.

Jede dieser sogenannten Episoden wurde von den Autoren, basierend auf der Qualität der Beschreibung der Episode, mit einem Wert zwischen 1 und 7 bewertet¹. Die Autoren beschreiben jedoch nicht, ob und inwiefern die (Intercoder-)

¹ Für eine ausführlichere Beschreibung des Kodierverfahrens siehe Kanter und Konstantopoulos (2010).

Reliabilität dieses Ratingverfahrens bestimmt wurde. Ausgespart bleibt auch auf welche der genannten PCK-Facetten sich das Rating der Episoden bezieht.

In Bezug auf die inhaltliche Themenspezifität der PCK-Messung wurden zwei unterschiedliche Scores auf Basis der Bewertung der Episoden berechnet: Je ein separater PCK-Score wurde für die beiden inhaltlichen Themenbereiche Kalorimetrie und Körpersysteme berechnet. Außerdem wurde ein durchschnittlicher PCK-Score als Mittelwert der beiden themenspezifischen Scores ermittelt.

Der Leistungstest für SchülerInnen bestand aus einer Mischung von Multiple-Choice sowie Constructed-Response Items, wobei die Autoren nicht angeben, aus wie vielen Items die beiden Instrumente zu den Themen Kalorimetrie und Körpersystem insgesamt bestanden. Obwohl weitere Variablen auf Individual-ebene der SchülerInnen im Zuge dieser Studie erhoben wurden, wurden diese im Zuge der statistischen Analyse nicht als Kontrollvariablen berücksichtigt.

Als Gesamtergebnis der Regressionsanalyse lässt sich festhalten, dass sich das nach der Umsetzung des Curriculums gemessene PCK der Lehrkräfte als signifikanter Prädiktor für den fachlichen Lernerfolg ihrer SchülerInnen sowohl für den Themenbereich Kalorimetrie als auch Körpersysteme und auch in einer Gesamtbetrachtung aller Items darstellt. Es ist an dieser Stelle jedoch kritisch anzumerken, dass in der Regressionsanalyse für keine weiteren der oben erwähnten Variablen auf Individualebene der SchülerInnen kontrolliert wurden, weshalb die Ergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren sind.

Insgesamt lässt sich für diese Studie zusammenfassen, dass

- (1) das PCK der Lehrkräfte anhand der Bewertung von schriftlichen Analysen eigener Unterrichtsvideos der Lehrkräfte erhoben wurde,
- (2) also der Zusammenhang zwischen handlungsnahem PCK (ePCK) und fachlichem Lernerfolg untersucht wurde,
- (3) die Autoren keine Angaben darüber machen, welche PCK-Facetten erhoben wurden,
- (4) sich alle Videoausschnitte und somit auch die PCK-Messungen auf die Themen Kalorimetrie und Körpersysteme bezogen,
- (5) mithilfe einer Regressionsanalyse analysiert wurde,
- (6) keine Kontrollvariablen berücksichtigt wurden und

- (7) sich das PCK der Lehrkräfte als signifikanter Prädiktor des fachlichen Lernfortschritts der SchülerInnen zeigte.

3.3 STeLLA (2011)

Im Rahmen des Projekts „The Science Teacher Learning from Lesson Analysis (STeLLA)“ (Roth et al., 2011) wurde der Zusammenhang zwischen dem PCK von 48 NaWi-Grundschullehrkräften und dem Leistungszuwachs deren insgesamt 1460 SchülerInnen in den USA über die Dauer von einem Jahr untersucht. Das Grundgerüst dieses Projekts bildete ein Professional-Development Programm für die teilnehmenden Lehrkräfte, wobei die Lehrkräfte zwischen zwei Varianten des Programms entscheiden konnten. Variante eins inkludierte eine fachliche Vertiefung sowie die Videoanalyse eigener Unterrichtseinheiten, die zweite Variante inkludierte nur eine fachliche Vertiefung. Für die Analyse des Zusammenhangs des PCK der Lehrkräfte mit dem Lernerfolg der SchülerInnen wurde der Anteil an Klassen analysiert, die an Variante eins des Programms teilnahmen.

Die Stichprobe für die im Folgenden dargestellte Analyse stellten insgesamt 32 Lehrkräfte mit 765 SchülerInnen dar. Das Fachwissen der SchülerInnen wurde an insgesamt drei Messzeitpunkten erhoben (Pretest, Midtest, Posttest). Die Lehrkräftevariablen wurden an denselben drei Zeitpunkten gemessen.

Auf ein bestimmtes theoretisches Rahmenmodell von PCK beziehen sich die AutorInnen nicht, das STeLLA-Team verweist jedoch auf zwei „Typen“ von PCK, die im Fokus stehen:

1. *Knowledge about creating a coherent science content storyline*
2. *Knowledge about eliciting, supporting and challenging students' thinking about specific science content*

Unter dem erstgenannten Wissenstyp *knowledge about creating a coherent science content storyline* verstehen die AutorInnen das Wissen von Lehrkräften über sinnvolle (instruktionale) Reihenfolgen naturwissenschaftlicher Konzepte oder Inhalte sowie damit verknüpfter Aktivitäten, um für Lernende eine kohärente „story“ zu entwickeln, der SchülerInnen auch folgen können. Unter dem zweiten Wissenstyp *knowledge about eliciting, supporting and challenging students'*

thinking about specific science content verstehen die AutorInnen im Wesentlichen Wissen über typische Schülervorstellungen und die Rolle von Schülervorstellungen in Lernprozessen.

Empirisch wurden diese beiden Wissenstypen mithilfe von Videovignetten im Sinne von videobasierten Unterrichtsanalyse-Aufgaben gemessen. Roth und Kollegen (2011) heben hervor, dass mit diesen Aufgaben die Fähigkeit von Lehrkräften gemessen wurde, instruktionale Praktiken zu analysieren, jedoch immer unter Zuhilfenahme ihres CK sowie PCK. Sie streichen damit hervor, dass PCK der Lehrkräfte nicht direkt gemessen zu haben.

Dieses Instrument bestand insgesamt aus vier fünfminütigen Videoclips aus dem Naturwissenschaftsunterricht der vierten oder fünften Jahrgangsstufe zum inhaltlichen Themengebiet des STeLLa-Projekts. Die Lehrkräfte wurden nach dem Ansehen des Videos dazu aufgefordert, die Videoclips in Hinblick auf den fachlichen Inhalt, den Unterricht und/oder die Lernenden zu analysieren und Kommentare dazu zu verfassen. Diese Kommentare wurden schließlich kodiert, bewertet und in zwei Scores für die beiden oben genannten Wissenstypen transformiert.

Für das Projekt wurden insgesamt vier unterschiedliche Fachwissenstests auf Schülerebene entwickelt (Elektrizität, Nahrungsmittelketten, Photosynthese und Wasserkreislauf) die den jeweiligen Jahrgangsstufen (vierte, fünfte und sechste Jahrgangsstufe) entsprechen. Alle vier Tests bestanden aus insgesamt jeweils 10 Items, drei davon im Multiple-Choice-Format und die restlichen sieben im offenen Antwortformat.

Als Gesamtergebnis der Mehrebenenanalyse zeigte sich, dass die Fähigkeit der Lehrkräfte, Naturwissenschaftsunterricht in Hinblick auf Schülerdenken zu analysieren, einen signifikanten Prädiktor für den fachlichen Lernzuwachs ihrer SchülerInnen darstellt.

Insgesamt lässt sich für diese Studie festhalten, dass

- (1) das PCK indirekt über die Fähigkeit, Videoclips naturwissenschaftlichen Unterrichts zu analysieren erhoben wurde,
- (2) also der Zusammenhang zwischen handlungsnahem PCK (ePCK) und fachlichem Lernerfolg untersucht wurde,

- (3) *knowledge about creating a coherent science content storyline* und *knowledge about eliciting, supporting and challenging students' thinking about specific science content* als "types of knowledge" von PCK erhoben wurden,
- (4) sich alle Videoclips auf fachliche Themengebiete, die innerhalb des STeLLA-Programms behandelt wurden, bezogen,
- (5) mithilfe von Mehrebenenmodellen analysiert wurde,
- (6) keine Kontrollvariablen auf Individualebene der SchülerInnen berücksichtigt wurden und
- (7) sich das PCK der Lehrkräfte als signifikanter Prädiktor des fachlichen Lernfortschritts ihrer SchülerInnen zeigte.

3.4 Sadler et al. (2013)

Sadler et al. (2013) untersuchten in einer Studie in den USA den Zusammenhang zwischen dem PCK von 181 Physiklehrkräften und dem Lernerfolg von insgesamt 9556 SchülerInnen der Jahrgangsstufe sieben oder acht über den Verlauf eines Schuljahres. Insgesamt wurde zu drei Testzeitpunkten (Beginn – Mitte – Ende des Schuljahres) erhoben. Die Lehrkräftemerkmale wurden beim ersten Testzeitpunkt ermittelt. Diese Studie stellt insofern eine Besonderheit dar, weil das Fachwissen der Lehrkräfte sowie der SchülerInnen mit demselben Testinstrument bestehend aus 20 Multiple-Choice Items gemessen wurde.

Als theoretisches Rahmenkonzept beziehen sich Sadler und Kollegen auf die ursprüngliche Definition von PCK durch Shulman (1986). Die AutorInnen sehen *knowledge of students' misconceptions (KOSM)* als wichtiges Wissensreservoir von Lehrkräften, (Carlsen, 1999; Loughran, Berry & Mulhall, 2012) weshalb sie diesen Aspekte von PCK in den Fokus ihrer Studie stellen.

In ihrer empirischen Studie wurde KOSM als die Fähigkeit von Lehrkräften operationalisiert, die häufigste falsche Antwortmöglichkeit einer Multiple-Choice-Aufgabe zu identifizieren. Dazu wurden aus den insgesamt 20 Items zwölf ausgewählt, die laut AutorInnen sogenannte „starke Fehlvorstellungen“ abtesten. Das bedeutet, dass die Mehrheit der SchülerInnen des gesamten Samples, welche das Item falsch beantworteten, denselben Distraktor gewählt hatten. Sadler und KollegInnen betrachten das derart erhobene KOSM als einen Teilaspekt des PCK von Lehrkräften.

Aufgrund dieses speziellen Studiendesigns ist die inhaltliche Themenspezifität der Analyse auch auf Itemebene gegeben. Das bedeutet, dass die Analyse nicht nur auf ein fachliches Themengebiet beschränkt ist, sondern sogar auf ein bestimmtes fachliches Konzept. Aus diesem Grund wurde für die Analyse auf ein logistisches Mehrebenenmodell zurückgegriffen (Wong & Mason, 1985), womit insgesamt zwölf Item-Scores modelliert wurden. Für die Analyse wurden zudem mehrere Kontrollvariablen auf Individualebene der SchülerInnen inkludiert: Jahrgangsstufe, Geschlecht, höchster Bildungsgrad der Eltern, ethnische Zugehörigkeit, Testzeitpunkt (Mitte oder Ende des Schuljahres), Fähigkeiten in Bezug auf Lesen und Mathematik, Pretest-Ergebnis auf dieses Item sowie Schwierigkeit des Items. Bei Klassen, für die nur die Ergebnisse des ersten und zweiten Testzeitpunktes vorlagen, wurden die Tests zum mittleren Testzeitpunkt als abhängige Variable gewählt. Für Klassen, in denen zusätzlich die Ergebnisse des dritten Messzeitpunktes vorlagen, wurden diese Ergebnisse als abhängige Variable gewählt. Deshalb wurde in der Analyse auch für den Zeitpunkt der Erhebung der abhängigen Variable kontrolliert.

Als Gesamtergebnis der logistischen Mehrebenenanalyse lässt sich festhalten, dass das KOSM der teilnehmenden Lehrkräfte einen signifikanten Prädiktor für die richtige Beantwortung der korrespondierenden Items ihrer SchülerInnen darstellt. Die AutorInnen heben jedoch hervor, dass dieser Zusammenhang nur auf Itemebene sichtbar wurde. Sadler et al. geben in Bezug auf den Gesamtscore der SchülerInnen nur einen Unterschied zwischen 0.05 und 0.10 Standardabweichungen zwischen Lehrkräften mit niedrigem (aus CK und KOSM kombinierten) und hohem Wissen an, ohne genauer darauf einzugehen.

Insgesamt lässt sich für diese Studie festhalten, dass

- (1) das KOSM der Lehrkräfte als Teil von PCK über die Fähigkeit, den am häufigsten gewählten Distraktor eines Items zu erkennen, erhoben wurde,
- (2) also der indirekte Zusammenhang zwischen dem pPCK der Lehrkräfte und fachlichem Lernerfolg untersucht wurde, die AutorInnen sich auf *knowledge of students' misconceptions* beziehen,
- (3) *knowledge of students' misconceptions (KOSM)* als Teil des PCK der Lehrkräfte erhoben wurde,

- (4) alle Analysen auf Itemebene getätigt wurden, das heißt alle Analysen bezogen sich konkret auf einen fachlichen Inhalt oder ein fachliches Konzept,
- (5) mithilfe logistischer Mehrebenenanalysen analysiert wurde,
- (6) mehrere Kontrollvariablen berücksichtigt wurden und
- (7) sich das KOSM der Lehrkräfte im Sinne eines Teils von PCK als signifikanter Prädiktor des fachlichen Lernfortschritts der SchülerInnen auf Itemebene, jedoch nicht in Bezug auf den Gesamtscore, zeigte.

3.5 QUIP

3.5.1 QUIP – Ergönenc et al. (2014)

Im Zuge des Projekts „quality of instruction in physics (QUIP)“ (Fischer, Labudde, Neumann & Viiri, 2014) wurde der Zusammenhang zwischen dem PCK von Physiklehrkräften, der kognitiven Aktivierung ihrer SchülerInnen und dem fachlichen Lernerfolg derselben in Deutschland, Finnland und der Schweiz untersucht (Ergönenc et al., 2014).

Für die Analyse wurde nur die Sub-Stichprobe der Deutschen und Schweizer Lehrkräfte (N = 67) herangezogen, weil nach eigenen Angaben rund 60 % aller Items des PCK-Testinstruments ein starkes Differential Item Functioning (siehe Kapitel 7.3.1) in Bezug auf die finnischen Lehrkräfte aufwiesen (Ergönenc et al., 2014). Insgesamt zeigte sich ein signifikant niedrigeres PCK der finnischen Lehrkräfte, die finnischen SchülerInnen schnitten unter Kontrolle des Vortests im Posttest jedoch signifikant besser ab als deutsche und schweizerische SchülerInnen (Spoden & Geller, 2014).

Im Zuge des Projekts wurden die teilnehmenden Lehrkräfte gebeten, eine Doppereinheit zum Thema *Elektrizitätslehre* in einer neunten oder zehnten Jahrgangsstufe zu unterrichten, welche videographiert wurde. Die Variablen auf Individualebene der SchülerInnen wurden vor sowie nach der Doppereinheit erhoben, die Lehrkräfte füllten den im Zuge des Projekts entwickelten PCK-Test (Ergönenc, 2010) nach der Doppereinheit aus (Neumann, Fischer, Labudde & Viiri, 2014).

Als theoretisches Rahmenmodell bezieht sich Ergönenc (2010) auf die ursprüngliche Definition von Shulman (1986), wobei sich das schriftliche PCK-Testinstrument auf drei Facetten beschränkt:

- *Knowledge about misconceptions*
- *Knowledge about curriculum*
- *Knowledge about difficulties of tasks and contents*

Die AutorInnen legen für die Erstellung von Items weitere Unterkategorien dieser Wissensfacetten fest. Details dazu siehe Ergönenc (2010).

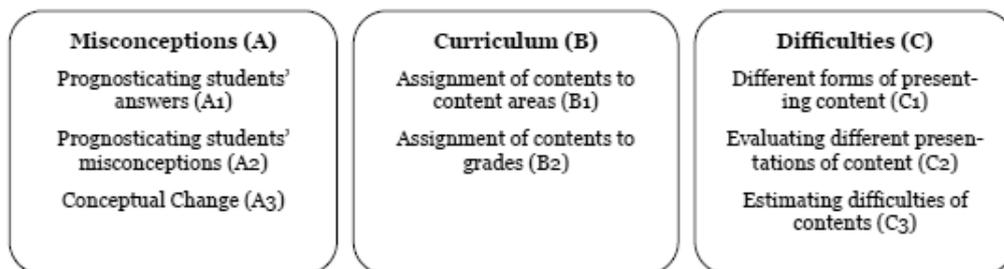


Abbildung 8: Übersicht der erhobenen PCK-Facetten im Projekt QUIP. Quelle: Ergönenc (2010, S. 50)

In der empirischen Studie wurde das PCK der teilnehmenden Lehrkräfte mithilfe eines schriftlichen Tests bestehend aus insgesamt 25 offenen Items erhoben, wobei sich für das Gesamtinstrument ein Cronbachs Alpha von $\alpha = .73$ ergab. 13 Items beziehen sich auf *knowledge about misconceptions*, 3 Items auf *knowledge about curriculum* und 9 Items auf *knowledge about difficulties*.

Drei unterschiedliche Itemtypen lassen sich in Bezug auf die Facette *knowledge about misconceptions* unterscheiden. Einerseits werden Lehrkräfte mit einer physikalischen Aufgabenstellung konfrontiert und gebeten, typische erwartbare Schülerantworten aufzulisten. Bei Items des zweiten Typs wird ebenso eine physikalische Aufgabenstellung gezeigt, allerdings bereits mit einer typischen Schülerantwort. Die Aufgabe der Lehrkraft ist dabei, typische Begründungen von SchülerInnen für diese Antwort zu geben. Dies soll Aufschluss darüber geben, ob Lehrkräfte fähig sind, Schülervorstellungen hinter einer bestimmten Antwort zu erkennen.

Der dritte Itemtyp bezieht sich auf Aspekte von *conceptual change*. Obwohl sich keine einheitliche Beschreibung aller Items dieses Typs formulieren lässt, weisen alle Items die Gemeinsamkeit auf, dass die Lehrkräfte gebeten werden, weitere

unterrichtliche Vorgehensweisen basierend auf Schüleraussagen oder Schülervorstellungen zu beschreiben. Die Beurteilung dieser Items erfolgte angelehnt an Basismodelle von Oser (2002).

Items der Facette *knowledge about curriculum* beziehen sich auf die Einordnung von Tafelskizzen zu einem bestimmten fachlichen Themengebiet oder Inhalt von den ProbandInnen.

Items der Facette *knowledge about difficulties* beziehen sich auf drei Unterkategorien, siehe Abbildung 8. Items, die *different forms of presenting content* zugeordnet werden, beziehen sich vor allem auf Wissen über Analogien und deren adäquaten Einsatz im Physikunterricht. In Items die *evaluating different presentations of content* zugeordnet werden, werden die Lehrkräfte dazu aufgefordert, eine Repräsentation eines physikalischen Inhalts oder Konzepts hinsichtlich seiner Eignung für den Unterricht aus physikdidaktischer Perspektive zu bewerten. Abgefragt werden dabei jedoch nur positive Aspekte der Darstellung. Für Items der Kategorie *estimating difficulties of contents* werden die Lehrkräfte wiederum aufgefordert, negative Aspekte einer der eben beschriebenen Repräsentation einzuschätzen.

In Publikationen zu diesem Projekt lassen sich zwar keine expliziten Angaben über die inhaltliche Themenspezifität des erhobenen PCKs finden, das Testinstrument selbst besteht nach Angaben (Ergönenc, 2010) jedoch nur aus Items, die sich auf das inhaltliche Themengebiet der Elektrizitätslehre beziehen.

Der Leistungstest für SchülerInnen zum Thema Elektrizitätslehre umfasste 54 dichotome Items, wobei 40 davon Multiple-Choice und 14 ein offenes Antwortformat hatte (Spoden & Geller, 2014). Administriert wurde dieser Test in einem Multi-Matrix-Design, jedes der drei Testhefte bestand aus 18 Items im Prä-Test und aus den restlichen 36 im Post-Test, sodass jede/r SchülerIn alle Items einmal beantworten musste. Zusätzlich wurden auf Individualebene der SchülerInnen das Interesse (Bundesamt für Statistik, 2011) sowie das physikbezogene Selbstkonzept (Frey et al., 2009) erhoben. Zusätzlich wurden zwei Skalen des Kognitiven-Fähigkeits-Tests (Heller & Perleth, 2001) eingesetzt. Außerdem wurde erhoben, ob die SchülerInnen einen Migrationshintergrund haben, das elterliche Bildungsniveau der SchülerInnen sowie der Schultyp auf Klassenebene erhoben. In der Analyse berücksichtigt wurden das Vorwissen sowie die kognitiven Fähigkeiten der SchülerInnen.

Die empirische Analyse des Zusammenhangs zwischen PCK und der Schülerleistung wurde mit einem Zweiebenen-Pfadmodell durchgeführt, wobei auf Individualebene die Variablen Vorwissen, non-verbale kognitive Fähigkeiten und numerische kognitive Fähigkeiten berücksichtigt wurden.

Auf Klassenebene wurden zwei Pfadmodelle gegenübergestellt: Einerseits wurde der direkte Einfluss von PCK auf den Lernerfolg der SchülerInnen modelliert, andererseits wurde ein Mediatormodell berechnet, in welchem der Einfluss des PCK durch die kognitive Aktivierung der SchülerInnen im Unterricht mediiert wird.

In der Analyse zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied in der Modellpassung zwischen diesen beiden Modellen, zusätzlich wiesen beide Modelle einen schlechten Modellfit auf. In dem direkten Modell zeigte sich eine (schwache) positive Korrelation des PCK mit dem Lernerfolg der SchülerInnen (.303). In einem Modell, welches die kognitive Aktivierung miteinbezieht, wurde diese Korrelation jedoch nicht signifikant, es ergab sich aber eine signifikante Korrelation zwischen dem PCK der Lehrkraft und der kognitiven Aktivierung der SchülerInnen (.282). Es zeigte sich keine signifikante Korrelation zwischen der kognitiven Aktivierung und dem Lernerfolg der SchülerInnen. Insgesamt sind die Ergebnisse, vor allem in Hinblick auf die schlechte Modellpassung, mit Vorsicht zu interpretieren.

Insgesamt lässt sich für diese Studie festhalten, dass

- (1) das PCK der Lehrkräfte mit einem schriftlichen Test erhoben wurde,
- (2) also der indirekte Zusammenhang zwischen dem pPCK der Lehrkräfte und fachlichem Lernerfolg untersucht wurde,
- (3) die AutorInnen sich auf *knowledge about misconceptions*, *knowledge about curriculum* und *knowledge about difficulties* bezogen,
- (4) alle Items des PCK-Tests sich auf das inhaltliche Themengebiet der Elektrizitätslehre bezogen,
- (5) das Vorwissen der SchülerInnen und Aspekte der kognitiven Fähigkeiten berücksichtigt wurden und
- (6) eine (geringe) positive Korrelation zwischen dem PCK der Lehrkräfte und dem fachlichen Lernerfolg in einem Pfadmodell, in dem das Unterrichtsqualitätsmerkmal kognitive Aktivierung nicht berücksichtigt wurde, und

- (7) keine Korrelation zwischen dem PCK und dem fachlichen Lernerfolg in einem Pfadmodell mit kognitiver Aktivierung festgestellt wurde, wobei die Ergebnisse aufgrund der schlechten Modellfits mit Vorsicht zu interpretieren sind.

3.5.2 QUIP - Keller, Neumann & Fischer (2017)

In einer Studie mit insgesamt 77 Physiklehrkräften in Deutschland und der Schweiz untersuchten Keller, Neumann und Fischer (2017) den Zusammenhang zwischen dem PCK sowie der Motivation auf Lehrkräfteseite und dem fachlichen Lernerfolg und dem Interesse ihrer insgesamt 1614 SchülerInnen in der 10. Jahrgangsstufe. Die AutorInnen stellen diese Studie als Teil des Projekts QUIP (Fischer et al., 2014) vor, in der Beschreibung der Studie bleibt dabei jedoch offen, ob es sich in der angegebenen Stichprobe lediglich um eine erweiterte Stichprobe der von Ergönenc (2010) durchgeführten Analyse handelt, oder ob es sich bei diesem Sample um 77 weitere Lehrkräfte handelt, die in bisherigen Analysen nicht berücksichtigt wurden. Weil es sich um dasselbe theoretische Rahmenmodell und Studiendesign handelt, wird an dieser Stelle nicht darauf eingegangen, sondern auf Kapitel 3.5.1 verwiesen.

Der Unterschied zu der in Kapitel 3.5.1 vorgestellten Studie besteht darin, dass weitere Variablen in die Analyse aufgenommen wurden: Dazu zählen auf Klasebene die Motivation der Lehrkraft – operationalisiert als das Interesse der Lehrkraft, Physik zu unterrichten. Das selbstentwickelte Instrument (Skala bestehend aus fünf Items) basiert auf der Person-Gegenstandstheorie von Krapp (2007). Auf Schülerebene wurde die Analyse um die Variable enthusiastischer Unterricht (enthusiastic teaching) (Keller et al., 2017) erweitert.

In dieser empirischen Studie wurden mithilfe von Mehrebenenstrukturgleichungsmodellen (MSEM) zwei unterschiedliche Modelle analysiert. Im ersten Modell wurde ein direkter Einfluss der erhobenen Lehrkräftemerkmale (PCK und Motivation) auf den fachlichen Lernerfolg und das Interesse der SchülerInnen analysiert. Im zweiten Fall wurde ein Mediatormodell durch die Aufnahme der Variablen *kognitive Aktivierung* und *enthusiastischer Unterricht* analysiert. Zeigten sich in der Analyse von Ergönenc (2010) keine ausreichenden Fit-Werte für das Pfadmodell, so zeigte sich in der Analyse des vorliegenden Projektes mithilfe

von MSEM ein ausreichender Modellfit (RMSEA = 0.04, CFI = 0.98, SRMR_{within} = 0.02).

In einem Modell, in dem nur der direkte Einfluss des PCK der Lehrkräfte auf den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen untersucht wurde, erwies sich das PCK als signifikanter Prädiktor ($\beta = .44^{**}$, im Vergleich zu $\beta = .30^{**}$ bei Ergönenc (2010)). In dem Mediatormodell wurde der Einfluss des PCK der Lehrkräfte einerseits durch einen direkten Einfluss auf den fachlichen Lernerfolg, andererseits durch einen indirekten Einfluss über die kognitive Aktivierung ihrer SchülerInnen untersucht. Dabei zeigte sich sowohl ein signifikanter Einfluss des PCK auf die kognitive Aktivierung der SchülerInnen als auch ein direkter Effekt auf den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen ($\beta = .34^{**}$, im Vergleich zu $\beta = .22$.n.s. bei Ergönenc (2010)). Zudem wurde in dieser Analyse auch ein positiver Einfluss der kognitiven Aktivierung auf den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen festgestellt – im Gegensatz zu der Analyse von Ergönenc (2010).

Insgesamt lässt sich für diese Studie festhalten, dass

- (1) das PCK der Lehrkräfte mit einem schriftlichen Test erhoben wurde,
- (2) also der indirekte Zusammenhang zwischen dem pPCK der Lehrkräfte und fachlichem Lernerfolg untersucht wurde,
- (3) die AutorInnen sich auf *knowledge about misconceptions*, *knowledge about curriculum* und *knowledge about difficulties* bezogen,
- (4) alle Items des PCK-Tests sich auf das inhaltliche Themengebiet der Elektrizitätslehre bezogen,
- (5) mithilfe von Mehrebenenstrukturgleichungsmodellen analysiert wurde,
- (6) das Vorwissen und das Interesse der SchülerInnen vor der Unterrichtseinheit berücksichtigt wurden und
- (7) sich das PCK der Lehrkräfte als positiver Prädiktor für den fachlichen Lernerfolg herausstellte, sowohl in einem direkten Modell als auch in einem Mediatormodell unter Mediation durch die kognitive Aktivierung.

3.6 ProwiN

Für das Projekt „Professionswissen in den Naturwissenschaften (ProwiN)“ liegen insgesamt vier Studien vor, die den Zusammenhang des Professionswissens von Lehrkräften mit fachlichen Schülerleistungen untersuchten. Alle Studien beziehen sich dabei auf das gleiche theoretische Rahmenmodell (Tepner, Borowski, Dollny et al., 2012). Das Modell zur Operationalisierung des PCK der Lehrkräfte ist in der ersten berichteten Studie des Projekts (Kapitel 3.6.1) zum Unterrichtsfach Biologie näher beschrieben, in den Studien zu den Unterrichtsfächern Chemie und Physik wird lediglich auf dieses Modell verwiesen und auf eine nähere Beschreibung verzichtet.

3.6.1 ProwiN – Biologie (Förtsch et al., 2016)

Förtsch, Werner, von Kotzebue und Neuhaus (2016) untersuchten in ihrer Studie den Zusammenhang zwischen dem PCK von Biologielehrkräften, der kognitiven Aktivierung ihrer SchülerInnen im Unterricht und deren Lernerfolg. Insgesamt nahmen an dieser Studie 39 Lehrkräfte mit 827 SchülerInnen teil. Eine Klassenstufe wird in der Publikation nicht explizit angegeben, das Thema *Neurobiologie* ist jedoch in der neunten Jahrgangsstufe des bayrischen Lehrplans verankert. Im Zuge dieser Studie wurden zwei Unterrichtsstunden der Lehrkräfte zum Thema *Neurobiologie* videographiert, wobei der Inhalt innerhalb des Themas für eine der beiden Einheiten vorgegeben wurde (Reflexbogen) und der Inhalt der anderen Stunde frei wählbar war. Der Prä-Test auf Schülerebene wurde vor der Unterrichtseinheit zum Thema *Neurobiologie* administriert, der Post-Test nach der gesamten Unterrichtseinheit – laut dem bayrischen Biologielehrplan ca. 18 Unterrichtsstunden – administriert. Das PCK der Lehrkräfte wurde vor der Durchführung der Unterrichtseinheit gemessen.

Als Basis des theoretischen Rahmenmodells der Studie beziehen sich die AutorInnen auf unterschiedliche Modelle (Baumert et al., 2010; Lee & Luft, 2008; Park & Oliver, 2008; van Driel, Verloop & Vos, 1998) und streichen dabei hervor, dass vor allem die beiden Facetten *Wissen über Schülervorstellungen* und *Wissen über Instruktionsstrategien* eine zentrale Rolle in allen Modellen einnehmen, weshalb diese beiden Facetten die Grundlage für die Entwicklung der Testinstrumente im Projekt ProwiN darstellen. Die Facette *Wissen über Instruktions-*

3 Zusammenhang von PCK mit fachlichen Schülerleistungen in der Naturwissenschaftsdidaktik

strategien unterteilen die AutorInnen (Tepner, Borowski, Dollny et al., 2012) zudem weiter in die beiden Unterkategorien *Wissen über Modelle/Konzepte* und *Wissen über Experimente*. Bei der Entwicklung der PCK-Testinstrumente wird im Projekt ProwiN zudem weiters zwischen drei unterschiedlichen Wissensarten unterschieden: deklaratives Wissen, prozedurales Wissen und konditionales Wissen (Anderson, Funke, Neuser-von Oettingen & Plata, 2013). Insgesamt ergibt sich dadurch ein Koordinatensystem, welches die Basis für die PCK-Itementwicklung im Gesamtprojekt darstellt, siehe Abbildung 9.

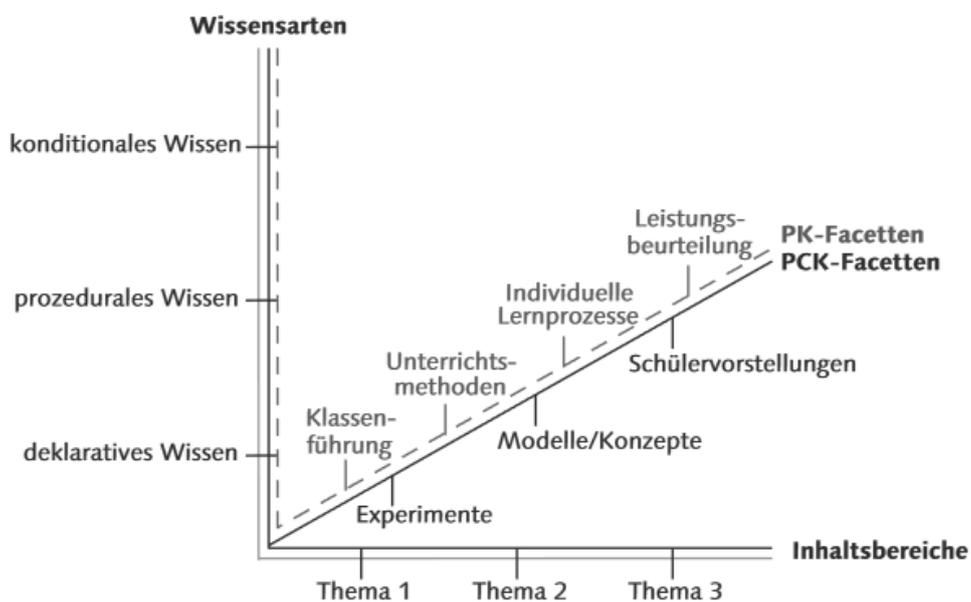


Abbildung 9: Modell zur Konzeption von PCK-Items im Zuge des Projekts ProwiN. Quelle: Tepner et al. (2012, S. 19)

In Bezug auf die inhaltliche Themenspezifität der Testinstrumente sowohl für die Biologie als auch Physik beziehen sich einige Items auf bestimmte fachliche Inhalte (in der Biologie auf den Inhalt Reflexbogen), weitere Items weisen keinen expliziten fachlichen Inhaltsbezug auf.

In der empirischen Studie von Förtsch et al. (2016) wurde eine gekürzte Version des von Jüttner et al. (2013) für das Projekt ProwiN-Biologie entwickelte PCK-Testinstrument verwendet. Es wurde also ein schriftliches Testinstrument aus insgesamt 9 Items verwendet, wobei 8 Items offene Fragestellungen waren und 1 Item ein Multiple-Choice Format hatte. Die Testergebnisse wurden mit einem Partial-Credit-Modell (Bond & Fox, 2012) analysiert und zeigten passende Outfit-Werte (<1.5) und eine Personenreliabilität von .53.

Wie in Abbildung 9 ersichtlich bestand das Testinstrument aus Items zu *Wissen über Schülervorstellungen* und *Wissen über Instrukionsstrategien* (im Itemkonstruktionsmodell weiter aufgeteilt in Experimente und Modelle/Konzepte). Für eine ausführliche Beschreibung der Itemkonstruktion siehe Jüttner et al. (2013).

Der Leistungstest für SchülerInnen zum Thema *Neurobiologie* mit einem Fokus auf Reflexbögen umfasste 18 Items im Prä-Test sowie 22 Items im Post-Test, ein Teil davon waren Multiple-Choice-Items, der Rest in einem offenen Partial-Credit-Format. Alle verwendeten Items zeigten passende Outfitwerte und die Personenreliabilität lag bei .78 für den Post-Test. Als Kontrollvariablen wurden die Leistungsbereitschaft der SchülerInnen (Wild, Gerber, Exeler & Remy, 2001) und die kognitive Aktivierung anhand der videographierten Unterrichtseinheiten auf Basis eines bereits bestehenden Kodiermanuals (Förtsch, Werner, Dorfner, Kotzebue & Neuhaus, 2017) erhoben.

Als Gesamtergebnis der Mehrebenen-Pfadanalyse unter Kontrolle des Vorwissens sowie der Leistungsbereitschaft lässt sich festhalten, dass das PCK der Lehrkräfte keinen direkten Zusammenhang mit dem Lernerfolg der SchülerInnen zeigte. In einem Mediatormodell unter Hinzunahme der kognitiven Aktivierung auf Klassenebene zeigte sich jedoch ein positiver Zusammenhang des PCK mit der kognitiven Aktivierung, welche wiederum den Lernerfolg der SchülerInnen signifikant voraussagte.

Insgesamt lässt sich für diese Studie festhalten, dass

- (1) das PCK der Lehrkräfte mittels eines schriftlichen Tests erhoben wurde,
- (2) also der indirekte Zusammenhang zwischen dem pPCK der Lehrkräfte und fachlichem Lernerfolg untersucht wurde,
- (3) *Wissen über Schülervorstellungen* sowie *Wissen über Instrukionsstrategien* erhoben wurde,
- (4) sich ein Teil der Items des Tests auf ein inhaltliches Themengebiet bezogen und die restlichen Items keinem inhaltlichen Themengebiet zuordenbar waren,
- (5) mithilfe von Mehrebenenmodellen analysiert wurde,
- (6) zwei Kontrollvariablen (Leistungsbereitschaft der SchülerInnen, kognitive Aktivierung im Unterricht) berücksichtigt wurden und

- (7) sich das PCK der Lehrkräfte nicht direkt als signifikanter Prädiktor des fachlichen Lernfortschritts der SchülerInnen zeigte, jedoch einen signifikanten Einfluss auf die kognitive Aktivierung hatte, welche wiederum einen Teil der Varianz in den Post-Testergebnissen der SchülerInnen aufklären konnte.

3.6.2 ProwiN – Chemie (Tröger et al., 2017)

An dieser Studie im Unterrichtsfach Chemie nahmen insgesamt 28 Chemielehrkräfte mit ihren 764 SchülerInnen der achten Jahrgangsstufe teil (Tröger, Sumfleth & Tepner, 2017). Wie bei Förtsch et al. (2016) wurden auch in dieser Teilstudie zwei aufeinanderfolgende Unterrichtsstunden der Lehrkräfte zum Thema *Atomaufbau und Periodensystem* videographiert. Der Prä-Test auf Schülerebene wurde vor der Unterrichtseinheit zum Thema Atomaufbau und Periodensystem administriert, der Post-Test nach der Unterrichtssequenz. Das Studiendesign gleicht insgesamt dem Design von Förtsch et al. (2016).

Als theoretisches Rahmenmodell diente dabei das in Kapitel 3.6.1 beschriebene Modell. Das eingesetzte Lehrkräfte-Testinstrument bestand aus Items zu *Wissen über Modelle* und *Wissen über Fachsprache* (Strübe, Tröger, Tepner & Sumfleth, 2014). Über den fachlichen Inhaltsbereich der Items konnten in Tröger et al. (2017) sowie Strübe et al. (2014) keine Angaben gefunden werden.

In der Studie wurde ein von Strübe et al. (2014) entwickeltes Testinstrument eingesetzt. Dieses schriftliche Testinstrument bestand aus insgesamt 15 Items. In diesen Items wurden fiktive Dialoge beschrieben, die von den Lehrkräften hinsichtlich ihrer Angemessenheit anhand einer Likert-Skala (eins bis sechs) einzuschätzen waren. Die Personenfähigkeiten der Lehrkräfte wurden mithilfe von Rasch-Modellen geschätzt, wobei unklar bleibt ob für die Schätzung Partial-Credit- oder Rating-Scale-Modelle verwendet wurden. Die Personenreliabilität des PCK-Tests betrug dabei .78.

Der Schülerfachwissenstest bestand aus insgesamt 30 Multiple-Choice-Aufgaben, welche auf zwei Testhefte mit jeweils 24 Aufgaben aufgeteilt waren. Neun Aufgaben wurden dabei als Verankerung der beiden Testhefte genutzt. Die Personenreliabilität lag bei .77. Als Kontrollvariablen wurden das Vorwissen und das Interesse am Fach Chemie der SchülerInnen in der Analyse berücksichtigt.

Als Gesamtergebnis der multiplen Regressionsanalyse unter Kontrolle der angeführten Kontrollvariablen zeigte sich, dass das PCK der Lehrkräfte einen signifikanten Prädiktor für den Lernerfolg der SchülerInnen darstellte.

Insgesamt lässt sich für die Studie festhalten, dass

- (1) das PCK der Lehrkräfte mittels eines schriftlichen Tests erhoben wurde,
- (2) also der indirekte Zusammenhang zwischen dem pPCK der Lehrkräfte und fachlichem Lernerfolg untersucht wurde,
- (3) *Wissen über Modelle* sowie *Wissen über Fachsprache* erhoben wurde,
- (4) in Tröger et al. (2017) keine Angaben über den fachlichen Inhaltsbereich des Testinstruments gefunden werden konnten,
- (5) mithilfe einer multiplen Regressionsanalyse analysiert wurde,
- (6) mehrere Kontrollvariablen auf Schülerebene (Vorwissen, Interesse am Fach Chemie) berücksichtigt wurden und
- (7) sich das PCK der Lehrkräfte als signifikanter Prädiktor für den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen zeigte.

3.6.3 ProwiN – Physik (Cauet, 2016)

An dieser Studie im Unterrichtsfach Physik nahmen insgesamt 23 Lehrkräfte mit ihren 661 SchülerInnen der achten oder neunten Jahrgangsstufe teil (Cauet et al., 2015; Cauet, 2016). Analog zu Förtsch et al. (2016) wurden zwei aufeinanderfolgende Unterrichtsstunden der Lehrkräfte zum Thema *Mechanik* videographiert. In der ersten Stunde sollten die Lehrkräfte den Kraft-Begriff einführen sowie ein Demonstrationsexperiment durchführen. In der zweiten Stunde konnten sich die Lehrkräfte das Thema aussuchen (Liepertz, 2017). Der Prä-Test auf Schülerebene wurde vor der Unterrichtseinheit zum Thema *Mechanik* administriert, der Post-Test nach der gesamten Unterrichtseinheit – die Dauer der Unterrichtssequenz zum Thema *Mechanik* variierte nach Angaben von Cauet (2016) relativ stark zwischen den Lehrkräften. Das Studiendesign gleicht insgesamt dem Design von Förtsch et al. (2016).

Als theoretisches Rahmenmodell diente dasselbe wie im Projekt ProwiN-Biologie. Das Instrument zur Erhebung des PCK der Lehrkräfte bestand also auch aus Items zu *Wissen über Schülervorstellungen* und *Wissen über Instruktionsstrategien*. Der überwiegende Teil des PCK-Testinstruments (6 Items) bestand aus

Items zum Themenbereich Mechanik, 4 Items zeigen keinen bestimmten fachlichen Inhaltsbezug und ein Item war zum inhaltlichen Themenbereich Elektrizitätslehre formuliert.

In der Studie wurde ein von Kirschner et al. (2017) entwickeltes Testinstrument verwendet. Dieses schriftliche Testinstrument bestand aus insgesamt 11 Items, wobei 10 Items offene Fragestellungen waren und 1 Item ein Multiple-Choice-Format hatte. Die Personenfähigkeiten der Lehrkräfte wurden mithilfe eines Partial-Credit-Modells (unter Hinzufügen einer weiteren Stichprobe) geschätzt, unter Ausschluss eines Items (welches einen Misfit aufwies) betrug die Personenreliabilität .53.

Der Schülerfachwissenstest bestand aus insgesamt 39 Multiple-Choice-Aufgaben, welche auf zwei Testhefte mit jeweils 24 Aufgaben aufgeteilt waren. Neun Aufgaben wurden dabei als Verankerung der beiden Testhefte genutzt. Die Personenreliabilität lag bei .58 für den Post-Test. Als Kontrollvariablen wurden das Vorwissen, das Geschlecht der SchülerInnen, die zu Hause gesprochene Sprache, die kognitiven Fähigkeiten der SchülerInnen sowie auf Klassenebene die Unterrichtszeit erhoben. Die kognitive Aktivierung wurde anhand der videographierten Unterrichtseinheiten mit einem auf Vogelsang (2013) basierten Ratingsystems analysiert.

Als Gesamtergebnis der Mehrebenenanalyse unter Kontrolle der angeführten Kontrollvariablen zeigte sich, dass das PCK der Lehrkräfte keinen signifikanten Prädiktor für den Lernerfolg der SchülerInnen darstellte. Ebenso zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang des PCK mit der kognitiven Aktivierung im Unterricht.

Insgesamt lässt sich für die Studie festhalten, dass

- (1) das PCK der Lehrkräfte mittels eines schriftlichen Tests erhoben wurde,
- (2) also der indirekte Zusammenhang zwischen dem pPCK der Lehrkräfte und fachlichem Lernerfolg untersucht wurde,
- (3) *Wissen über Schülervorstellungen* sowie *Wissen über Instruktionsstrategien* erhoben wurde,
- (4) sich ein Teil der PCK-Items auf den inhaltlichen Themenbereich der Mechanik bezogen, ein Teil der Items sich keinem expliziten inhaltlichen

Themenbereich zuordnen ließ und ein Item sich auf den inhaltlichen Themenbereich der Elektrizität bezog,

- (5) mithilfe von Mehrebenenmodellen analysiert wurde,
- (6) mehrere Kontrollvariablen auf Schüler- (Vorwissen, Geschlecht, zu Hause gesprochene Sprache, kognitive Fähigkeiten) sowie Klassenebene (Unterrichtszeit) berücksichtigt wurden und
- (7) sich das PCK der Lehrkräfte weder als signifikanter Prädiktor für die kognitive Aktivierung noch für den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen zeigte.

3.6.4 ProwiN – Physik (Liepertz, 2017)

Zeitgleich zu der Studie von Cauet (2016) entstand eine weitere Dissertation im Zuge des Projekts ProwiN, nämlich von Liepertz (2017) im Bereich Physik. Der Studienaufbau glich in sehr vielen Aspekten der Studie von Cauet (2016), weshalb an dieser Stelle nur die Unterschiede bzw. Ergänzungen dargestellt werden.

Die Lehrkräftestichprobe bestand aus einer im Vergleich zur Studie von Cauet (2016) um 13 Lehrkräfte erweiterten Stichprobe und umfasste somit insgesamt 35 Lehrkräfte mit 907 SchülerInnen der achten oder neunten Jahrgangsstufe. In der Studie von Cauet (2016) stand die kognitive Aktivierung in den videographierten Unterrichtseinheiten im Fokus, in der Studie von Liepertz die Sachstruktur (Brückmann, 2009) sowie die sachstrukturelle Vernetztheit der beiden videographierten Unterrichtsstunden.

In dieser Studie wurde dasselbe Testinstrument eingesetzt wie in der Studie von Cauet (2016), die Personenreliabilität des PCK-Tests in der erweiterten Stichprobe betrug .58. Die Personenreliabilität des Schülerfachwissenstests zeigte einen Wert von .57 im Post-Test.

In der Mehrebenenanalyse wurden für das Vorwissen der SchülerInnen zum Thema *Mechanik*, die kognitiven Fähigkeiten, das Geschlecht, die zu Hause gesprochene Sprache und die Unterrichtszeit kontrolliert. Dabei zeigte zwar ein Modell unter Aufnahme des PCK einen (schwach signifikant) besseren Modellfit als das Kontrollvariablenmodell, jedoch stellte sich das PCK als negativer Prädiktor in Bezug auf den Lernerfolg der SchülerInnen heraus.

Insgesamt lässt sich für die Studie festhalten, dass

- (1) das PCK der Lehrkräfte mittels eines schriftlichen Tests (derselbe wie in Cautet, 2016) erhoben wurde,
- (2) also der indirekte Zusammenhang zwischen dem pPCK der Lehrkräfte und fachlichem Lernerfolg untersucht wurde,
- (3) *Wissen über Schülervorstellungen* sowie *Wissen über Instruktionsstrategien* erhoben wurde,
- (4) sich ein Teil der Items auf den inhaltlichen Themenbereich der Mechanik bezogen, ein Teil der Items wies keinen expliziten Inhaltsbezug auf und ein Item sich auf den inhaltlichen Themenbereich der Elektrizität bezog,
- (5) mithilfe von Mehrebenenmodellen analysiert wurde,
- (6) mehrere Kontrollvariablen auf Schüler- (Vorwissen, kognitive Fähigkeiten, Geschlecht, zu Hause gesprochene Sprache) sowie Klassenebene (Unterrichtszeit) berücksichtigt wurden und
- (7) sich das PCK der Lehrkräfte als negativer Prädiktor für den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen herausstellte.

3.7 PRIME (2017)

Gess-Newsome et al. (2017) untersuchten in einer empirischen Studie im Zuge eines Professional-Development Programms den Zusammenhang zwischen dem PCK von insgesamt 50 Biologielehrkräften aus den USA und deren Schülerleistungen. In Gess-Newsome et al. (2017) konnte keine Angabe dazu gefunden werden, wie viele SchülerInnen aus welcher Jahrgangsstufe an der Studie insgesamt teilnahmen. Im Zuge des Projekts PRIME hatten die teilnehmenden Lehrkräfte die Möglichkeit, eines von zwei entwickelten Biologie-Curricula innerhalb einer Zwei-Jahresperiode zu implementieren.

Dieser Prozess wurde durch über 250 Stunden an Lehrkräftefortbildungen je Lehrkraft begleitet, wodurch sich das Projektteam einerseits eine Weiterentwicklung des Professionswissens der teilnehmenden Lehrkräfte und damit indirekt auch eine Steigerung des Lernerfolgs der SchülerInnen erwartete. Die intendierten Wirkpfade des Projekts sind in Abbildung 10 ersichtlich. Der fachliche Lernerfolg der teilnehmenden SchülerInnen wurde dabei in einem Prä-Post-Design erhoben, die beiden Zeitpunkte der Testung waren der Beginn und das Ende eines Schuljahres.

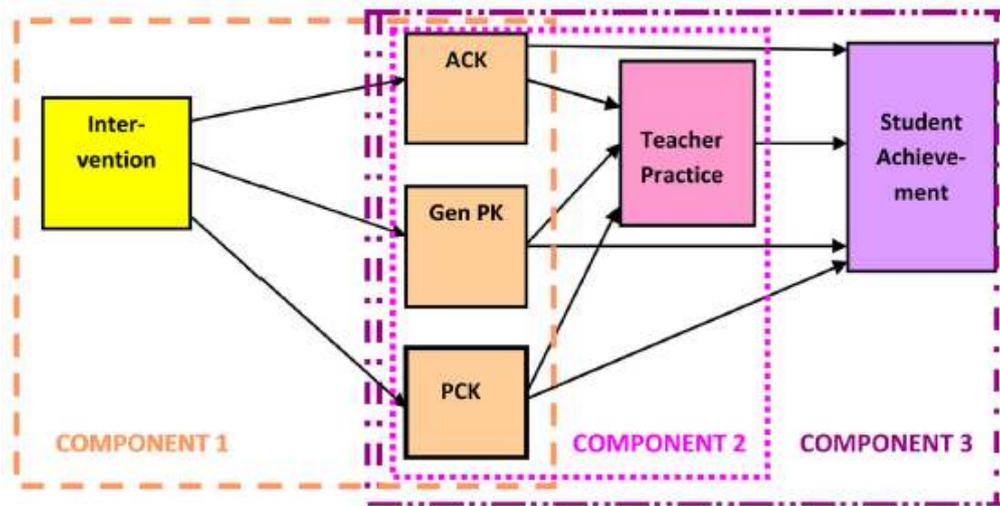


Abbildung 10: Intendierte Wirkpfade im Zuge des Projekts PRIME. Quelle: Gess-Newsome et al. (2017, S. 947)

In der theoretischen Beschreibung heben die AutorInnen hervor, dass sie PCK sowohl als Wissensbasis (z. B. Henze, van Driel & Verloop, 2008) als auch als einen Aspekt der Unterrichtspraxis (z. B. Park & Oliver, 2008) auffassen. Aus diesem Grund entschieden sich Gess-Newsome und Kollegen dafür, das PCK der Lehrkräfte mittels schriftlicher Reflexionen, Interviews und Unterrichtsbeobachtungen auf Basis eines Ratingsystems (Gardner & Gess-Newsome, 2011) zu erheben. Insgesamt unterscheiden Gess-Newsome et al. (2015) auf theoretischer Basis drei Unterkategorien von PCK: *content knowledge* (PCK-CK), *pedagogical knowledge* (PCK-PK) und *contextual knowledge* (PCK-CxK). Die AutorInnen diskutieren jedoch auch die Entwicklungen (seit dem Start des PRIME-Projekts) rund um den ersten PCK-Summit (Amanda Berry et al., 2015) und beziehen ihre Ergebnisse daher in der Diskussion auf das im Zuge des Summits entwickelte TPK&S-Modell (siehe Kapitel 2.2.1) (Gess-Newsome, 2015).

In der Diskussion betrachten Gess-Newsome et al. die Ergebnisse ihrer Studie aus der Perspektive des TPK&S-Modells (Gess-Newsome, 2015). In diesem Diskussionsabschnitt des Artikels argumentieren die AutorInnen, dass die Intervention im Projekt direkt auf die Weiterentwicklung des Topic Specific Professional Knowledge (TSPK) der Lehrkräfte abzielte. Aus ihrer Sicht stellen sowohl die entwickelten Curricula als auch die Lehrkräftefortbildungen Manifestierungen von TSPK dar.

In dieser empirischen Studie wurde eine Kombination aus mehreren Datenquellen verwendet, um das PCK der Lehrkräfte zu erheben. Um das PCK der Lehrkräfte anhand von schriftlichen Reflexionen und Interviews sichtbar zu machen, wurde das *Project PRIME PCK Reflection Instrument* (Gardner & Gess-Newsome, 2011) entwickelt. Dieses Instrument bestand aus zwei Teilen: Im ersten Teil wurden die Lehrkräfte dazu aufgefordert, über den Unterricht eines bestimmten inhaltlichen Themas nachzudenken und anschließend eine Stunde zu diesem Thema Schritt für Schritt zu planen und zu verschriftlichen. Es sollten sowohl die Lehrkraft- als auch Schüleraktivitäten sowie die dahinterliegenden Begründungen für diese unterrichtlichen Tätigkeiten beschrieben werden. Im zweiten Teil mussten die Lehrkräfte einige vorgegebene Fragen beantworten, um die Begründungen für das Forschungsteam klarer zu machen.

Insgesamt mussten die Lehrkräfte in diesem Projekt zu vier Zeitpunkten schriftliche Reflexionen zu je fünf Unterrichtsstunden verfassen (zu jedem inhaltlichen Themengebiet des Projektes eine). Zudem wurde mit jeder Lehrkraft ein Interview zu einer Stunde am Ende des Projekts geführt.

Zur Analyse und Messung des PCK der Lehrkräfte wurde ein „PRIME PCK Rubric“ entwickelt, anhand dessen das PCK der Lehrkräfte auf Basis der von ihnen videographierten Unterrichtsstunden zu zwei Themen, den schriftlichen Reflexionen und dem Interview gemessen wurde. Es wurde ein Score für PCK-CK, PCK-PK sowie PCK-CxK gebildet.

Bei der Analyse der Daten anhand konfirmatorischer Faktorenanalyse zeigte sich jedoch, dass sich PCK-PK und PCK-CxK empirisch nicht trennen ließen. Die weiteren Analysen wurden schließlich anhand zweier Skalen getätigt: PCK-PK sowie PCK-CK. Die AutorInnen bringen diese beiden Skalen mit zwei Facetten von Shulmans' PCK-Definition (1986) in Verbindung: *knowledge of student understandings related to a specific topic* und *knowledge of instructional strategies* und *subject matter representations for teaching*.

Der Fachwissenstest für SchülerInnen bestand insgesamt aus fünf Subskalen mit je 16 bis 20 Items zu denselben fünf Themengebieten wie die schriftlichen Reflexionen. Der Test bestand insgesamt aus 90 Items. Cronbachs Alpha variierte für die Schülerfachwissenstest zwischen .68 und .80.

In dieser empirischen Studie wurde schließlich anhand einer multiplen Regressionsanalyse untersucht, ob das PCK-PK oder PCK-CK der Lehrkräfte einen positiven Zusammenhang mit dem Lernerfolg der SchülerInnen aufweist. Kontrollvariablen auf Individualebene der SchülerInnen wurden nicht berücksichtigt. Auf Klassenebene wurde für die „teaching practice“ der Lehrkräfte, erhoben durch das *Reformed Teaching Observation Protocol (RTOP)* (Piburn et al., 2000), kontrolliert. Als Gesamtergebnis zeigte sich, dass zwar das CK (in der Studie als *ACK* – academic content knowledge – bezeichnet) einen signifikanten, positiven Prädiktor für den Lernerfolg der SchülerInnen darstellte, nicht jedoch das PCK-PK oder PCK-CK der Lehrkräfte.

Insgesamt lässt sich für die Studie festhalten, dass

- (1) das PCK der Lehrkräfte auf Basis mehrerer Datenquellen erhoben wurde: schriftliche Reflexionen, videographierte Unterrichtsstunden und Interviews,
- (2) also der Zusammenhang zwischen handlungsnahem PCK (ePCK) und fachlichem Lernerfolg untersucht wurde,
- (3) *PCK-PK* und *PCK-CK* erhoben wurden,
- (4) sich alle Daten auf fünf Themengebiete innerhalb der Biologie bezogen,
- (5) mithilfe einer multiplen Regressionsanalyse analysiert wurde,
- (6) keine Kontrollvariablen auf Individualebene der SchülerInnen berücksichtigt wurden, jedoch *teaching practice* auf Klassenebene und
- (7) sich das PCK der Lehrkräfte nicht als signifikanter Prädiktor für den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen zeigte.

3.8 Mahler, Großschedl und Harms (2017)

Mahler, Großschedl und Harms (2017) untersuchten in einer Studie den Zusammenhang des PCK von insgesamt 48 Biologielehrkräften mit dem fachlichen Lernerfolg ihrer 1036 SchülerInnen der Jahrgangsstufe sieben oder acht. Dazu wurden die teilnehmenden Lehrkräfte gebeten, im Zuge der Studie das Thema *Das Ökosystem Wattensee* sowie *Die Morphologie und das Leben der Mytilus edulis* (gemeine Miesmuschel) anhand eines Unterrichtskonzepts (Fraune, 2014) im Umfang von ca. vier Schulstunden zu unterrichten.

Als theoretisches Rahmenmodell beziehen sich die AutorInnen einerseits auf die ursprüngliche Auffassung von PCK durch Shulman (1986) sowie auf weitere Beschreibungen von Grossman (1990) dahingehend, dass vor allem *Wissen über Schülervorstellungen* sowie *Wissen über Instruktionsstrategien* zentrale Facetten von PCK darstellen (Großschedl et al., 2015; Lee & Luft, 2008; Park & Oliver, 2008; Schmelzing et al., 2013; van Driel et al., 1998). Aus diesem Grund betrachten Mahler und KollegInnen im Zuge ihrer Studie auch ebenjene Facetten.

In der empirischen Studie wurde das PCK der Lehrkräfte mithilfe eines schriftlichen Testinstruments erhoben, welches insgesamt aus neun offenen Items bestand, welche alle einen Bezug zur Miesmuschel im Kontext des Wattensee-Ökosystems hatten (Großschedl, Mahler, Kleickmann & Harms, 2014). Fünf dieser Items bezogen sich dabei auf *Wissen über Instruktionsstrategien*, die restlichen vier Items auf *Wissen über Schülervorstellungen*. Die AutorInnen berichten eine EAP-Reliabilität von .77.

Um das Fachwissen der SchülerInnen zu erheben wurden zwei unterschiedliche Instrumente verwendet: Einerseits wurde eine Mischung aus geschlossenen und offenen Items (insgesamt 22 Items, Post-EAP-Reliabilität = .81) eingesetzt, andererseits wurden Concept-Maps eingesetzt, um das konzeptuelle Verständnis der Struktur von Systemen adäquater erheben zu können. Als Kontrollvariablen auf Individualebene der SchülerInnen wurden zusätzlich die verbalen und non-verbalen kognitiven Fähigkeiten der SchülerInnen erhoben (Heller & Perleth, 2001).

Mithilfe von Mehrebenenstrukturgleichungsmodellen wurde in dieser Studie schließlich der Zusammenhang des PCK der Lehrkräfte mit dem Lernerfolg ihrer SchülerInnen untersucht. Dabei stellte sich das PCK der Lehrkräfte als signifikanter Prädiktor des Lernerfolgs der SchülerInnen heraus.

Insgesamt lässt sich für diese Studie festhalten, dass

- (1) das PCK der Lehrkräfte mit einem schriftlichen Test erhoben wurde,
- (2) also der indirekte Zusammenhang zwischen dem pPCK der Lehrkräfte und fachlichem Lernerfolg untersucht wurde,
- (3) die AutorInnen sich auf *Wissen über Schülervorstellungen* und *Wissen über Instruktionsstrategien* beziehen,

- (4) alle Items des PCK-Tests sich auf das inhaltliche Themengebiet der Intervention (Miesmuscheln und das Ökosystem Wattensee) beziehen,
- (5) mithilfe von Mehrebenenstrukturgleichungsmodellen analysiert wurde,
- (6) das Vorwissen der SchülerInnen, die nonverbalen und verbalen kognitiven Fähigkeiten der SchülerInnen berücksichtigt wurden und
- (7) sich das PCK der Lehrkräfte als positiver Prädiktor für den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen herausstellte.

3.9 Yang, Liu & Gardella Jr. (2020)

Yang, Liu und Gardella Jr. (2020) untersuchten im Rahmen einer Studie neben dem Einfluss eines Professional Development Programms auf die unterrichtliche Praxis von Lehrkräften auch den Zusammenhang des PCK von 191 teilnehmenden Lehrkräften mit fachlichen Leistungen ihrer insgesamt 3353 SchülerInnen in den USA. Lehrkräfte wurden jedoch mehrfach gezählt, wenn sie in mehreren Jahren am Programm teilnahmen. Die Lehrkräfte und SchülerInnen verteilten sich dabei sowohl auf Elementary, Middle als auch High Schools.

Das Ziel dieses fünfjährigen Weiterbildungsprogramms für Lehrkräfte war „to improve science teaching and learning by promoting interdisciplinary science inquiry in 12 low-performing public schools within a large urban school district in the Northeastern United States” (Yang et al., 2020). Dieses Programm umfasste insgesamt fünf Jahre (2012-2016). Schüler- und Lehrkräftedaten wurden jährlich erhoben, aber dennoch als Querschnittsdaten in der Analyse betrachtet.

Als theoretisches Rahmenkonzept beziehen sich die AutorInnen auf die entwickelten PCK-Modelle von Magnusson et al. (1999) sowie Park und Oliver (2008) und fokussieren sich in der Studie auf die beiden Facetten *knowledge of learners* und *knowledge of teaching orientation*.

In dieser Studie wurde das PCK der Lehrkräfte mithilfe bereits entwickelter Testinstrumente erhoben. Für die teilnehmenden Lehrkräfte aus den High Schools wurde das PCK zur Facette *knowledge of learners* mithilfe eines von Trygstad, Banilower, Smith und Nelson (2014) entwickelten Testinstruments für die teilnehmenden Chemielehrkräfte gemessen. Für die partizipierenden Biologie-, Erdwissenschafts- und Physiklehrkräfte wurden im Zuge des Projekts Assessing Teacher Learning About Science Teaching (Smith, 2010) entwickelte Instrumente

zur selben Facette eingesetzt. Unklar bleibt dabei, inwiefern diese Testinstrumente vergleichbar sind.

Für die teilnehmenden Lehrkräfte die in elementary oder middle schools unterrichtet wurden wurden acht Items des „Pedagogy of Science Teaching Test“ (Cobern et al., 2014) eingesetzt, um das PCK zur Facette *knowledge of teaching orientation* dieser Lehrkräfte zu messen.

Letztendlich geht aus der Beschreibung nicht hervor, ob alle Lehrkräfte Items zu beiden Facetten *knowledge of learners* und *knowledge of teaching orientation* beantworten mussten oder ob sich der Test für High School Lehrkräfte nur auf die Facette *knowledge of learners* und der Test für Elementary und Middle School Lehrkräfte lediglich auf die Facette *knowledge of teaching orientation* bezog. Die AutorInnen berichten zufriedenstellende Reliabilitätswerte von Cronbach's Alpha zwischen .64 und .92. Aus der Beschreibung geht jedoch nicht hervor, inwiefern die unterschiedlichen eingesetzten Testinstrumente für die jeweiligen Fächer vergleichbar sind und auf welche fachlichen Inhalte sich die Testinstrumente beziehen.

Um fachliche Leistungen der SchülerInnen zu erheben wurden zwei Testinstrumente (eines für Jahrgangsstufe 5-8, eines für die Jahrgangsstufe 9-12) bestehend aus 20 Multiple-Choice-Items zu insgesamt sechs *Crosscutting Concepts* eingesetzt. Diese beiden Testinstrumente wurden über sechs Items verankert, um die fachlichen Leistungen der SchülerInnen auf einer Skala messen zu können. Alle verwendeten Items stammten ebenso aus bereits entwickelten Testinstrumenten (Kahle & Rogg, 1997; Lawson, 2000; Ohio Department of Education, 2007) und die AutorInnen berichten eine Personenreliabilität des Instruments von .62.

Als Kontrollvariablen auf Individualebene der SchülerInnen wurden neben dem Geschlecht, der Jahrgangsstufe und ethnischer Zugehörigkeit der Lernenden fünf weitere Variablen mithilfe eines Fragebogens erhoben. Diese fünf Variablen sind: „student self-efficacy in science, teachers' inquiry instruction, student experience of inquiry activity, parental expectation, parental assistance with homework at home“ (Yang et al., 2020). Auf Lehrkräfteebene wurde für die Anzahl an Dienstjahren, den Ausbildungsgrad und das Ausmaß der Teilnahme am Professional Development Programm kontrolliert. Auf Schulebene wurde für die Klassengröße, den prozentuellen Anteil an Anwesenheit der SchülerInnen und den

prozentuellen Anteil an „suspensions“ sowie dafür, ob es an der Schule kostenfreies Mittagessen gab, kontrolliert.

Mithilfe einer 3-Ebenen Mehrebenenanalyse wurde in dieser Studie schließlich neben weiteren Fragestellungen der Zusammenhang zwischen dem PCK der Lehrkräfte und fachlichen Leistungen ihrer SchülerInnen untersucht. Dabei stellte sich das PCK der Lehrkräfte nicht als signifikanter Prädiktor fachlichen Lernens der SchülerInnen heraus.

Insgesamt lässt sich für diese Studie festhalten, dass

- (1) das PCK der Lehrkräfte mit schriftlichen Tests erhoben wurde,
- (2) also der indirekte Zusammenhang zwischen dem pPCK der Lehrkräfte und fachlichem Lernerfolg untersucht wurde,
- (3) die Autoren sich auf *knowledge of learners* und *knowledge of teaching orientations* beziehen,
- (4) aus der Beschreibung der AutorInnen nicht hervorgeht, auf welche inhaltliche Themengebiete sich die Items beziehen,
- (5) mithilfe von Mehrebenenmodellen analysiert wurde,
- (6) für Variablen auf Schüler- (Geschlecht, Jahrgangsstufe, ethnische Zugehörigkeit, science self-efficacy, teachers' inquiry instruction, student experience of inquiry activity, parental expectation, parental assistance with homework), Klassen- (Dienstjahre, Ausbildungsgrad, Ausmaß der Teilnahme am Fortbildungsprogramm) und Schulebene (durchschnittliche Klassengröße, prozentueller Anteil an Anwesenheit der SchülerInnen, prozentueller Anteil an „suspensions“, kostenfreies Mittagessen) kontrolliert wurde und
- (7) sich das PCK der Lehrkräfte nicht als positiver Prädiktor für den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen herausstellte.

3.10 Übersicht und Zusammenfassung der Ergebnisse

Um eine Gesamtübersicht über die zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Arbeit vorliegenden Ergebnisse zum Zusammenhang von PCK mit dem fachlichen Lernerfolg von SchülerInnen im Naturwissenschaftsunterricht zu erhalten, sind die Ergebnisse der beschriebenen Studien in Tabelle 2 abermals zusammenfassend dargestellt.

Insgesamt zeigt sich in der Übersicht auch zum aktuellen Zeitpunkt ein nicht restlos geklärtes Bild, es lassen sich jedoch einige Tendenzen formulieren. In allen Studien, die einen positiven Zusammenhang von PCK mit fachlichem Lernerfolg der SchülerInnen berichten, beschränkte sich das Erhebungsinstrument auf einen klar begrenzten Inhaltsbereich, der auf die Intervention auf Schülerebene zugeschnitten war. Je enger dieser Bereich gesetzt wurde, desto robuster erscheinen auch die Ergebnisse.

Aus der Beschreibung der Konzeptualisierungen des PCK der Lehrkräfte in den jeweiligen Studien wird zudem deutlich, dass die Studien im Sinne des Angebots-Nutzungs-Modells (Helmke, 2015), des TPK&S-Modells (Gess-Newsome, 2015) und des RCM-Modells (Carlson & Daehler, 2019) teilweise unterschiedliche Zusammenhänge untersuchen. In manchen Studien werden handlungsnaher Aspekte bzw. konkrete Aspekte der Unterrichtshandlung als Teile von PCK erhoben, welche, in Angebots-Nutzungs-Modellen als Aspekte der Unterrichtsqualität, im TPK&S-Modell als personal PCK/skill und im RCM-Modell als ePCK bezeichnet werden. In diesen Studien wird der Zusammenhang zwischen dem ePCK der Lehrkräfte und fachlichem Lernerfolg untersucht.

In den restlichen Studien werden primär kognitive Konstrukte (z. B. mit schriftlichen Tests) erhoben, welche in Angebots-Nutzungs-Modellen mit Aspekten der Lehrkräfteresourcen, im TPK&S-Modell mit dem TSPK der Lehrkräfte und im RCM-Modell mit dem pPCK der Lehrkräfte identifiziert werden können. In diesen Studien wird der (indirekte, über die Unterrichtsqualität medierte) Zusammenhang des pPCK der Lehrkräfte mit fachlichem Lernerfolg untersucht.

Zwei der drei Studien, welche Aspekte des ePCK der Lehrkräfte erheben, berichten positive Zusammenhänge (siehe Kapitel 3.2 und 3.3) zwischen dem ePCK und fachlichen Schülerleistungen. Studien, die das pPCK der Lehrkräfte erheben sehen tendenziell eher keine oder schwächere Zusammenhänge (diese Zusammenhänge werden wiederum dadurch beeinflusst, inwiefern die Erhebung des pPCK auf die Schülerintervention abgestimmt wurde). Dies lässt sich auch darin begründen, dass der für einen direkten Zusammenhang notwendige Handlungsaspekt aus untersuchungstechnischen Gründen unvollständig bleiben muss.

Für die Interpretation und Durchführung zukünftiger Studien, die Zusammenhänge von PCK mit fachlichem Lernerfolg von SchülerInnen untersuchen, sollten in der Beschreibung dieser Studien also mehrere Faktoren expliziert werden:

Neben einer expliziten Beschreibung, welche Facetten des PCK der Lehrkräfte erhoben wurden, sollte klar dargestellt werden, welcher Zusammenhang im Sinne des RCM, TPK&S-Modells oder Angebots-Nutzungs-Modellen untersucht wird, also ob Aspekte des ePCK (personal PCK/skill im TPK&S-Modell) oder pPCK (TSPK im TPK&S-Modell) der Lehrkräfte erhoben wurden. Weiters sollte beschrieben werden, inwiefern die Erhebung des PCK auf die Intervention auf Schülerebene abgestimmt wurde aber auch inwiefern eine Standardisierung der Unterrichtsintervention möglich war. Eine Explikation dieser Faktoren macht es zwar weiterhin nur bedingt möglich, Studien, die den Zusammenhang von ePCK mit fachlichen Schülerleistungen untersuchen, mit Studien, die indirekte Zusammenhänge zwischen pPCK und Schülerleistungen untersuchen, zu vergleichen. Dadurch wird jedoch eine sinnvolle Einordnung der Studienergebnisse in schulische Wirkungsmodelle möglich.

Tabelle 2: Übersicht über die in Kapitel 3 besprochenen Studien zum Zusammenhang des PCK von Lehrkräften mit dem fachlichen Lernerfolg derer SchülerInnen

Studie	Konstrukt	Erhebungsmethode	PCK-Facetten	Fachlicher Inhaltsbereich	Analysemethode	Kontrollvariablen	PCK signifikanter Prädiktor fachlichen Lernens?
Plus (2010)	<i>pPCK</i>	schriftlicher Test	2	Inhaltsbereich angepasst an Schülertest	Mehrebenenanalyse	Ja	Ja
I. Bio (2010)	<i>ePCK</i>	Analyse von Essays basierend auf	k.A.	Inhaltsbereich angepasst an Schülertest	Multiple Regressionsanalyse	Nein	Ja
STeLLA (2011)	<i>ePCK</i>	videobasierte Unterrichtsanalyse	1	Inhaltsbereich angepasst an Schülertest	Mehrebenenanalyse	Nein	Ja
Sadler et al. (2013)	<i>pPCK</i>	Identifizierung häufiger falscher Antworten auf Schülertests	1	Inhaltsbereich angepasst an Schülertest	Logistische Mehrebenenanalyse	Ja	Ja, jedoch nicht in einer globalen Betrachtung
QUIP (Ergönenc, 2014)	<i>pPCK</i>	schriftlicher Test	3	Inhaltsbereich angepasst an Schülertest	Mehrebenen-Pfädanalyse	Ja	Ja, jedoch nicht unter Einbezug der kognitiven Aktivierung
QUIP (Keller et al., 2017)	<i>pPCK</i>	schriftlicher Test	3	Inhaltsbereich angepasst an Schülertest	Mehrebenen-strukturgleichungsmodelle	Ja	Ja, auch unter Einbezug der kognitiven Aktivierung
ProwN-Biologie (2016)	<i>pPCK</i>	schriftlicher Test	2	Inhaltsbereich angepasst an Schülertest, jedoch auch Items ohne konkreten Inhaltsbezug	Mehrebenenanalyse	Ja	Nein, jedoch für kognitive Aktivierung

Studie	Konstrukt	Erhebungsmethode	PCK-Facetten	Fachlicher Inhaltsbereich	Analysemethode	Kontrollvariablen	PCK signifikanter Prädiktor fachlichen Lernens?
ProwIN-Chemie (Tröger et al., 2017)	<i>pPCK</i>	schriftlicher Test	2	keine konkrete Angabe	Multiple Regressionsanalyse	Ja	Ja
ProwIN-Physik (Cauet, 2016)	<i>pPCK</i>	schriftlicher Test	2	Inhaltsbereich angepasst an Schülertest, jedoch auch Items ohne	Mehrebenenanalyse	Ja	Nein, auch nicht für kognitive Aktivierung
ProwIN-Physik (Liepertz, 2017)	<i>pPCK</i>	schriftlicher Test	2	Inhaltsbereich angepasst an Schülertest, jedoch auch Items ohne konkreten Inhaltsbezug	Mehrebenenanalyse	Ja	Ja (negativ), positiv für sachstrukturelle Vernetztheit
PRIME (2017)	<i>ePCK</i>	schriftliche Reflexion, Videoanalyse, Interviews	2	Inhaltsbereich angepasst an Schülertest	Multiple Regressionsanalyse	Nein	Nein
Mahler et al. (2017)	<i>pPCK</i>	schriftlicher Test	2	Inhaltsbereich angepasst an Schülertest, insgesamt fünf fachliche Inhaltsbereiche	Mehrebenenstrukturgleichungsmodelle	Ja	Ja
Yang et al. (2020)	<i>pPCK</i>	schriftlicher Test	2	keine konkrete Angabe	Mehrebenenanalyse	Ja	Nein

4 Sachstruktur

Die Vermittlung physikalischer Fachinhalte stellt wohl den zentralsten Bildungsauftrag von Physikunterricht dar. Fachinhalte und vieles mehr werden in Lehrplänen formuliert, durch SchulbuchautorInnen und Lehrkräfte interpretiert, abgebildet und letztendlich im Physikunterricht vermittelt. In Deutschland und Österreich ist es innerhalb des rechtlichen Rahmens weitgehend den Lehrkräften überlassen, wie diese Übersetzung von Lehrplänen in Unterricht erfolgt: Sowohl Schwerpunktsetzung bei den zu behandelnden fachlichen Inhalten, eingesetzte Fachmethoden, Unterrichtskonzeptionen, der Einsatz unterschiedlicher Repräsentationen und/oder Analogien aber vor allem auch das Verknüpfen und in Bezug Setzen dieser Elemente bilden eine den Unterricht charakterisierende Struktur, über die weitestgehend Lehrkräfte entscheiden. Die Gesamtheit dieser Strukturierungselemente wird in der Fachdidaktik als *Sachstruktur* bezeichnet. Reinhold (2010) versteht unter dem Begriff Sachstruktur:

Die sachliche, unter logischen und systematischen Gesichtspunkten gegliederte Struktur der fachlichen Inhalte [...]. Dazu gehören einerseits die Begriffe, Theorien, Modelle und Prinzipien und andererseits die Methoden, Denk- und Arbeitsweisen sowie Vorstellungen über die Natur der Wissenschaft Physik. (S. 90)

Brückmann (2009) erweitert diese Definition schließlich noch um die Notwendigkeit einer Berücksichtigung historischer, technischer und gesellschaftlicher Dimensionen der fachlichen Inhalte. Diese Definition vermittelt zumindest implizit, dass zwischen einer Sachstruktur der Physik und Sachstrukturen von Physikunterricht unterschieden werden muss (Brückmann, 2009; Duit, Häußler & Kircher, 1981; Kircher, Girwitz & Häußler, 2009; Reinhold, 2010). Das bedeutet wiederum, dass die Sachstruktur für den Physikunterricht aus der Sachstruktur der Physik rekonstruiert werden muss. Als ein verlässliches Rahmenkonzept für eine derartige Rekonstruktion der Sachstruktur für den Physikunterricht hat sich das Modell der didaktischen Rekonstruktion (Duit, Gropengießer, Kattmann, Komorek & Parchmann, 2012; Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek, 1997) herausgestellt (siehe Abbildung 11).

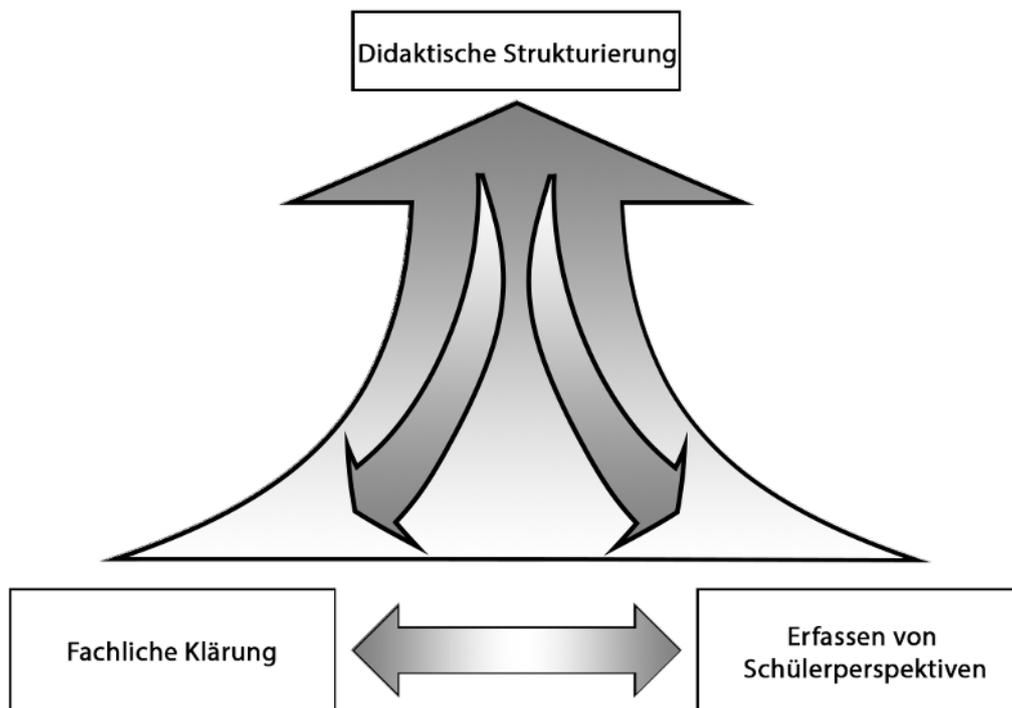


Abbildung 11: Modell der didaktischen Rekonstruktion nach Duit et al. (2012). (Quelle: Plotz, 2017)

Um die Sachstruktur für den Physikunterricht zu rekonstruieren, ist es entsprechend dieses Modelles notwendig, neben einer fachlichen Klärung des Sachinhaltes auch Schülerperspektiven in die didaktische Strukturierung des Unterrichts gleichwertig und in wechselseitigem Bezug einfließen zu lassen.

Als ein zentraler Schritt bei der Rekonstruktion der Sachstruktur der Physik hin zu einer Sachstruktur des Physikunterrichts wird die Elementarisierung oder didaktische Reduktion von Sachverhalten gesehen (Metzger, 2013; Reinhold, 2010). Die Elementarisierung eines bestimmten physikalischen Sachverhaltes beinhaltet dabei drei unterschiedliche Aspekte (nach Bleichroth, 1991):

1. Aspekt der „Vereinfachung des Inhalts“

Ein physikalischer Sachverhalt kann auf unterschiedliche Arten vereinfacht werden. So kann der Gegenstand der Elementarisierung zum Beispiel auf qualitative Aspekte reduziert werden, äußere Einflussfaktoren vernachlässigt werden oder es können gegenständliche Analogien und Modelle verwendet werden (Reinhold, 2010).

2. Aspekt der „Bestimmung des Elementaren“

Das Wesentliche oder Elementare eines physikalischen Inhalts lässt sich meist auf eine grundlegende Idee, eine Gesetzmäßigkeit oder eine tragende Wirkungsweise zurückführen (Wilhelm, 2018b). Im Zuge einer

Generalisierung muss dabei jedoch ein guter Mittelweg zwischen dem Erhöhen des Niveaus (durch die Generalisierung) und dem Aspekt der Vereinfachung des Inhalts gefunden werden (Metzger, 2013).

3. Aspekt der „Zerlegung des Inhalts in (methodische) Elemente“

Eine angemessene Vereinfachung eines Sachverhaltes oder der elementare Kern allein reichen als mitgeteilte Information nicht automatisch aus, um den Inhalt für SchülerInnen verständlich zu machen (Reinhold, 2010). Die vereinfachten und elementaren Inhalte müssen demnach in fassbare, geeignete Unterrichtselemente unterteilt werden.

Als Kennzeichen guter Elementarisierungen werden dabei drei Kriterien als zentral gesehen: Gute Elementarisierungen müssen *schülergerecht*, *fachgerecht* und *zielgerichtet* sein. Unter schülergerecht werden eine Berücksichtigung der kognitiven Struktur, des Vorwissens sowie der Schülervorstellungen subsumiert. Elementarisierungen gelten als fachgerecht, wenn sie den physikalischen Sinn eines Begriffes nicht verfälschen, aber dennoch dem Niveau der Lerngruppe angepasst und anschlussfähig sind (Wilhelm, 2018b). Zusätzlich sollen Elementarisierungen zielgerichtet sein. Darunter ist vereinfacht gesagt zu verstehen, dass letztendlich die Ziele des Physikunterrichts vorgeben, welche Inhalte oberflächlich und welche vertieft behandelt werden (Wilhelm, 2018b).

Für die konkrete didaktische Strukturierung eines Sachverhaltes sind diese Aspekte der Elementarisierung nicht unabhängig voneinander und können daher nicht getrennt betrachtet werden. Deshalb kann auch nicht von einer einzigen, „wahren“ Sachstruktur des Physikunterrichts gesprochen werden, sondern vielmehr von einer Vielzahl gleichwertiger Sachstrukturen.

Für die Beschreibung, die Visualisierung und den Vergleich von unterrichtlichen Sachstrukturen wurden in der Naturwissenschaftsdidaktik unterschiedliche Verfahren und Methoden entwickelt sowie eingesetzt. Ein Ziel dieser Dissertation ist die Beschreibung bestimmter Elemente der Sachstruktur des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts der teilnehmenden Lehrkräfte. Im nächsten Kapitel werden daher bereits eingesetzte Zugänge zur Beschreibung von Sachstrukturen im Physikunterricht beschrieben, sie dienen als Vergleichsbasis für die Entwicklung der Erhebungsmethoden in dieser Dissertationsarbeit, welche in Kapitel 7.3 und Kapitel 7.6 näher beschrieben sind.

4.1 Darstellung und Beschreibung von Sachstrukturen

In diesem Kapitel werden exemplarisch drei Zugänge zur sachstrukturellen Analyse von Physikunterricht vorgestellt, denen unterschiedliche Zugänge und Datenbasen zugrunde liegen. Gegenstand der sachstrukturellen Analyse ist realer, und videographierter Physikunterricht in der Studie von Brückmann (2009) und Helaakoski und Viiri (2014). Schulbücher stellen den Analysegegenstand bei Härtig (2010) dar.

4.1.1 Termini und Relationen

Eine mögliche Herangehensweise an sachstrukturelle Analysen erfolgt über Termini und Relationen. Diese Variante bietet sich an, wenn die sachstrukturelle Aufbereitung eines Inhaltsbereiches als Schülertext vorliegt. Im Rahmen seiner Dissertation beschäftigt sich Härtig (2010) mit der Validierung von Testitems anhand der Sachstruktur von Schulbüchern. Im Zuge dieser sachstrukturellen Analyse greift Härtig auf die Repräsentation von Sachstrukturen mittels Termini und Relationen zurück. Unter einem Terminus versteht Härtig (2010):

Ein Wort soll genau dann als ein Terminus in einer Sachstruktur angesehen werden, wenn er in einem bestimmten, fachlich dominierten Inhalt als Substantiv oder entsprechendes Pronomen verwendet wird. Das Wort muss eindeutig (im Sinne einer Definition, Messvorschrift, etc.) innerhalb des jeweiligen Inhalts definiert sein und sich durch die Kategorien logisch, empirisch und theoretisch erfassen lassen. (S. 8)

Angelehnt an Schurz (2008) und Johnson (Johnson, 1971) bilden für Härtig Relationen eine Definition oder Beschreibung eines Terminus oder eine inhaltliche Verbindung mehrerer Termini (Härtig, 2010). Diese Verbindung kann mithilfe eines einzelnen Wortes aber auch eines Satzes dargelegt werden.

In der Studie von Härtig (2010) wird die Sachstruktur der Schulbücher schließlich anhand eines Concept-Mapping-Verfahrens analysiert. Grundlegend bilden zwei Elemente die Basis von Concept Maps – Konzepte und Propositionen (Novak, 1990) – welche mit den definierten Begriffen Terminus und Relation gleichgesetzt werden. In der Studie wurde der Text in den ausgewählten Schulbüchern anhand eines entwickelten Manuals kodiert und schließlich in eine Concept-Map transformiert.

Teilergebnisse der Studie von Härtig (2010) beziehen sich auf die Qualität des Concept-Mapping-Verfahrens hinsichtlich der Abbildung von Sachstrukturen. Für die Überführung von Schulbuchttexten in Concept-Maps wurden dabei vier KodiererInnen eingeschult. Nach dieser Einschulung erhielten sie thematisch verschiedene Abschnitte aus zwei unterschiedlichen Büchern (Härtig, 2010). Der Gesamtumfang dieser Abschnitte betrug dabei 70 Seiten. Härtig berichtet für die Termini im paarweisen Vergleich eine prozentuale Übereinstimmung von 90 %, die durchschnittliche Übereinstimmung bei den Relationen lag bei einem Wert von 72 %.

Weiters wurden im Zuge dieser Studie Videos von 25 Unterrichtsstunden (die bereits aus einem anderen Projekt in dieser Arbeitsgruppe vorlagen) zum Thema *Elektrizitätslehre* hinsichtlich der Verwendung von Termini kodiert und mit den erstellten Concept-Maps der Schulbücher verglichen. Dabei ergab sich bei 276 vorausgewählten Termini eine mittlere Korrelation von $r = .428$. Der Autor schließt daraus, dass zumindest eine Ähnlichkeit der Sachstruktur von Schulbüchern und der des Unterrichts gegeben ist.

Scheint durch diese Vorgehensweise eine Methode gefunden worden zu sein, die empirischen Ansprüchen wie Reliabilität, Objektivität und Validität genügt, stellt sich dennoch die Frage, inwiefern ein derartiges, lediglich auf Termini und Relationen begründetes Verfahren eine Sachstruktur im Sinne Reinholds (2010) beschreiben kann. So wird zum Beispiel aus den Concept-Maps zwar die Beziehung einzelner Termini zueinander sichtbar, inwiefern aber zum Beispiel technische oder gesellschaftliche Aspekte in die Texte der Schulbücher gewoben wurden oder welche Arten von Analogiemodellen in der Elektrizitätslehre eingesetzt wurden, bleibt offen.

4.1.2 Sachstrukturdiagramme

Die Analysemethode der *Sachstrukturdiagramme* in der Studie von Brückmann (2009) basiert im Wesentlichen auf einer Idee von Duit, Häußler und Kircher (1981), die als Hilfsmittel zur Planung der Sachstruktur von Unterrichtsstunden sogenannte Sachstrukturdiagramme vorschlagen. Darunter sind Flussdiagramme zu verstehen, in welchen der Unterrichtsinhalt in sogenannten „einzelnen Sinneinheiten“ eingetragen und mit Pfeilen logisch verknüpft wird. Ein Interesse

hinter der Erstellung von Sachstrukturdiagrammen ist, den Inhalt einer Unterrichtsstunde übersichtlich darzustellen. Außerdem wird es anhand dieser Darstellung möglich, die Sachstruktur der Unterrichtsstunde hinsichtlich mehrerer Kriterien (z.B. fachliche Stimmigkeit) zu analysieren und zu beurteilen (C. Müller & Duit, 2004).

Die Vorgehensweise für die Erstellung von Sachstrukturdiagrammen nach Brückmann (2009) ist dabei folgende: Die entsprechenden Unterrichtsinhalte (wie zum Beispiel Prinzipien, Begriffe oder Anwendungsbeispiele) werden in Inhaltsblöcke eingetragen. Diese Blöcke werden genau dann mit einem Pfeil verbunden, wenn ein Block eine logische Voraussetzung für den anderen darstellt. Stehen zwei Inhaltsblöcke in wechselseitiger Beziehung zueinander, werden Doppelpfeile verwendet. Müller und Duit (2004) verwenden außerdem strichlierte Pfeile, wenn ein Inhaltsblock zeitlich vor einem anderen unterrichtet wurde, es aber keine sachlogische Beziehung zwischen diesen beiden Blöcken gibt.

Diese auf Müller und Duit aufbauenden Sachstrukturdiagramme nach Brückmann werden in drei Abschnitte geteilt: Das obere Drittel wird mit Inhalten vorangegangener Stunden sowie Vorwissen der SchülerInnen, an welches im Unterricht angeknüpft werden soll, befüllt. Im in der Mitte stehenden Hauptteil werden die Inhalte, Begriffe, usw. der Unterrichtsstunde eingetragen und das untere Drittel umfasst Inhaltsblöcke, welche weitere Unterrichtsstunden betreffen. Ein Beispiel für ein derartig erstelltes Sachstrukturdiagramm ist in Abbildung 12 ersichtlich.

Müller und Duit (2004) waren die ersten, welche den Zusammenhang zwischen der unterrichtlichen Sachstruktur und dem Lernerfolg von SchülerInnen anhand von Sachstrukturdiagrammen im Zuge der IPN-Videostudie untersuchten. Insgesamt wurden dabei je sechs Unterrichtsstunden von 13 Lehrkräften zu den Themen Mechanik und Elektrizitätslehre in der Jahrgangsstufe neun videographiert. Anhand dieser Videos wurden Sachstrukturdiagramme der jeweiligen Unterrichtsstunden erstellt. Der Leistungserfolg (erhoben in einem Prä-Post Design) der SchülerInnen wurde zudem getestet. Interesse, Kompetenzerleben, Motivation und Selbstkonzept wurden als Kontrollvariablen erhoben.

Insgesamt zeigte sich in dieser Studie eine positive Korrelation zwischen der sachunterrichtlichen Vernetztheit (operationalisiert als die mittlere Anzahl der Pfeile pro Inhaltsblock) und dem gesamten fachlichen Lernerfolg (Mechanik und

Elektrizitätslehre, $r = .57$, $p < .05$), nicht jedoch in einer separaten Betrachtung für den inhaltlichen Themenbereich der Mechanik. Zwischen Anwendungsbezügen und dem fachlichen Lernerfolg konnte keine signifikante Korrelation festgestellt werden.

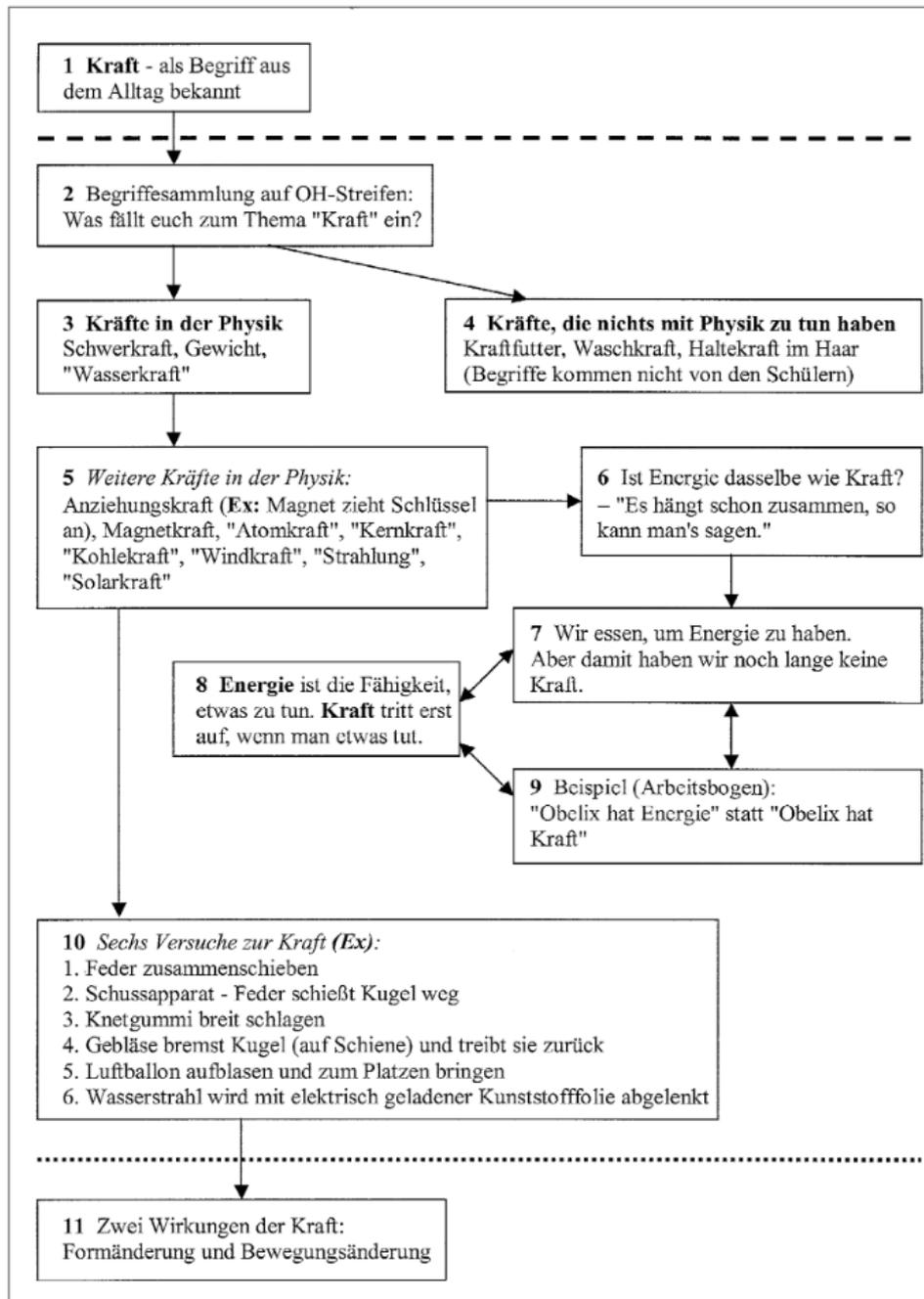


Abbildung 12: Sachstrukturdiagramm einer Unterrichtsstunde zur Einführung des Kraftbegriffs. Quelle: Müller & Duit (2004, S. 152)

Als ein Kritikpunkt dieser Studie können forschungsmethodische Defizite angeführt werden. Die Kodierung der Sachstrukturdiagramme erfolge nicht in einer manualgeleiteten Form, welche aktuellen Ansprüchen empirischer Forschung gerecht werden.

Um Untersuchungen zum Einfluss von unterrichtlichen Sachstrukturen auf den Lernerfolg von SchülerInnen auf eine fundiertere empirische Basis zu stellen entwickelte Brückmann (2009) im Zuge ihrer Dissertation zwei Manuale zur Erstellung von Sachstrukturdiagrammen. Dabei wurde auf dasselbe Videomaterial wie in der IPN-Videostudie zurückgegriffen. Die Manuale wurden exemplarisch anhand der Einführung des Kraftbegriffs entwickelt. In Bezug auf die Kodierung der Struktur des inhaltlichen Angebots fasst Brückmann (2009) zusammen:

Die Ergebnisse der Beobachterübereinstimmung weisen darauf hin, dass die Kodierung der Inhaltsblöcke (Schritt 2), die Festlegung der Vernetzung durch Pfeile (Schritt 3) und die Beachtung der grafischen Vorschrift des rekonstruierten Sachstrukturdiagramms (Schritt 4), unabhängig von zwei Kodierern durchgeführt werden kann und zu einem zufriedenstellend übereinstimmenden Ergebnis führt. (S. 192)

Ebenjene entwickelten Kodiermanuale für Sachstrukturdiagramme nutzte schließlich Liepertz (2017, siehe auch Kapitel 3.6.4) für die sachstrukturelle Analyse videographierter Unterrichtsstunden von insgesamt 35 Physiklehrkräften zur Einführung des Kraftbegriffs in der achten oder neunten Jahrgangsstufe. Auch Liepertz (2017) berichtet ausreichende Übereinstimmung im Urteil zweier Rater sowie zufriedenstellende Reliabilitätswerte für die Erstellung der Sachstrukturdiagramme. In einer Mehrebenenanalyse erwies sich die Vernetztheit der Sachstruktur als signifikanter Prädiktor für den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen. Im Gegensatz zur von Müller & Duit (2004) durchgeführten Studie konnte die sachstrukturelle Vernetztheit also auch für den Mechanikunterricht als ein Merkmal guten Physikunterrichts identifiziert werden (Liepertz & Borowski, 2018).

Obwohl die Verwendung von Sachstrukturdiagrammen sich als nützliches Hilfsmittel für die Beschreibung unterrichtlicher Sachstrukturen erwiesen hat, stellt sich die Frage, inwiefern diese Methode für eine Beschreibung der unterrichtlichen Sachstruktur verwendet werden kann, die sich auf einen größeren Bereich

als die Einführung eines einzelnen Begriffes bezieht. Für die Analyse der Sachstruktur im Zuge dieser Dissertation, deren Ziel die Beschreibung des gesamten Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts darstellt, scheint eine derartige Vorgehensweise aus ökonomischen Gründen nicht sinnvoll. Außerdem stellt sich die Frage, ob mit Sachstrukturdiagrammen nicht eher die Unterrichtsstruktur dargestellt wird – im Gegensatz zur Darstellung der fachlichen Sachstruktur des Unterrichts. Sachstrukturdiagramme stellen eher eine Mischung bzw. Überlagerung aus der Fachstruktur des Unterrichts und der Unterrichtsstruktur dar.

4.1.3 Concept-Maps auf Videobasis

Helaakoski und Viiri (2014) greifen im Zuge des Projekts QUIP (siehe auch Kapitel 3.5, Fischer et al., 2014) auf eine andere Zugangsweise, unterrichtliche Sachstrukturen darzustellen, als Brückmann (2009) zurück. Helaakoski und Viiri betrachten die Sachstruktur basierend auf einer Unterscheidung zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen, wobei sie sich in ihrer Studie auf deklaratives Wissen beschränken. Sie unterscheiden dazu zwischen deklarativen Wissens-elementen und Verbindungen zwischen diesen (an dieser Stelle lässt sich ein Vergleich zu Termini und Relationen bei Härtig (2010) ziehen). Zu Wissens-elementen zählen Helaakoski und Viiri sowohl Konzepte und Objekte als auch Gleichungen und Symbole/Einheiten. Die Sachstruktur konstituiert sich für Helaakoski und Viiri dementsprechend aus deklarativen Wissens-elementen und deren Verbindungen bzw. wird derart im Projekt QUIP operationalisiert.

Als Datenbasis der sachstrukturellen Analyse dienten insgesamt 98 Doppelstunden zum Thema „Beziehung zwischen elektrischer Energie und Leistung“ in deutschen (45), schweizerischen (28) und finnischen (25) Klassen der Jahrgangsstufen neun oder zehn. In ihrer Analyse verwenden Helaakoski und Viiri Concept-Maps (Novak, Gowin & Bob, 1984) zur Darstellung der Sachstrukturen, welche sich aus inhaltsbezogenen Konzepten und deren Vernetzung zusammensetzen.

Diese Concept-Maps wurden in mehreren Schritten gebildet: Aussagen von Lehrkräften oder SchülerInnen im unterrichtlichen Diskurs wurden anhand eines entwickelten Kategoriensystems der Konzepte (als Teile von Wissens-elemente, mit einer zufriedenstellenden Reliabilität von $\kappa > .60$) kodiert, die Verbindungen zwischen den Konzepten wurden ebenso kodiert (also Verbindungswörter oder

verbindende Phrasen zwischen den beiden Konzepten). Danach, falls notwendig, wurden Concept-Maps auf der Mikro-Ebene einer Aussage gebildet, siehe Abbildung 13. Danach wurden alle Concept-Maps auf der Mikro-Ebene in einer Konnektivitätsmatrix zusammengefasst, welche schließlich die Basis für weitere Auswertungen bildete.

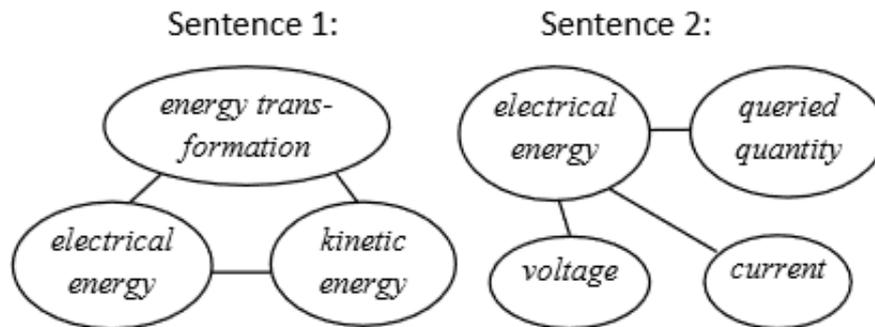


Abbildung 13: Darstellung einer Concept-Map basierend auf einem einzelnen Satz. Quelle: Helaakoski & Viiri, (2011, S. 66)

Im Zuge dieser Studie konnten einige Merkmale der Concept-Maps als Eigenschaften qualitativollen Unterrichts identifiziert werden. Zum Beispiel wurden positive, signifikante Korrelationen zwischen dem durchschnittlichen fachlichen Lernzuwachs der SchülerInnen und der Anzahl unterschiedlicher Konzepte, der Anzahl an physikalischen Konzepten, der Anzahl an verbundenen Konzeptpaaren und der Häufigkeit an Verbindungen zwischen physikalischen Konzepten gefunden. Es scheint also nicht nur die Vernetztheit der Struktur des Unterrichts (C. Müller & Duit, 2004) sondern auch die Vernetztheit der thematisierten physikalischen Konzepte ein wesentliches Kriterium guten Physikunterrichts darzustellen.

Helaakoski und Viiri (2014) betrachteten zudem auch länderspezifische Unterschiede in der Sachstruktur. Dabei fanden sie einen signifikanten Unterschied zwischen finnischen und deutschen Lehrkräften, sowohl hinsichtlich der Anzahl an Verbindungen zwischen physikalischen Konzepten, der Anzahl an unterschiedlichen Konzepten als auch der Anzahl an verbundenen Konzeptpaaren zum Vorteil der finnischen Lehrkräfte. Im Zuge dieses Projekts wurde auch ein signifikant unterschiedlicher Lernzuwachs zugunsten der finnischen SchülerInnen festgestellt (Spoden & Geller, 2014).

In der Diskussion der Ergebnisse gehen die AutorInnen zwar darauf ein, dass die sachstrukturellen Unterschiede eine Erklärungsmöglichkeit für die unterschiedlichen Ergebnisse der deutschen und finnischen SchülerInnen darstellen – eine explizite Analyse wurde dazu jedoch nicht publiziert.

Analog zu den Anmerkungen in Kapitel 4.1.1 kann auch für diese Art sachstruktureller Analysen angemerkt werden, dass sich die Analyse lediglich auf Konzepte und deren Verbindung zueinander bezieht. Über eingesetzte Repräsentationsformen für die bestimmten Konzepte, Anwendungsbezüge dazu oder eingesetzte Experimente können keine Aussagen getätigt werden.

Die Idee einer Beschreibung der Sachstruktur auf der Basis von Concept-Maps wurde nach diesem Projekt unter anderem von Viiri weiterentwickelt, aktuell nutzen Caballero et al. (2017) Spracherkennungssoftware, um die Entwicklung der Sachstruktur im Sinne von Concept-Maps einerseits zur Analyse von Sachstrukturen, andererseits aber auch als Live-Feedback-Tool für Lehrkräfte einzusetzen. Der unterrichtliche Diskurs wird dabei von der Software automatisch erfasst, transkribiert und in eine Concept-Map umgewandelt. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit liegen jedoch nur Pilotierungsergebnisse vor (Caballero et al., 2017).

4.2 Analogiemodelle als Elemente der Sachstruktur

Wie bereits erwähnt, liegt eine Zielsetzung dieser Dissertation darin, traditionellen Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht, wie er in Teilen Deutschlands und Österreichs durchgeführt wird, zu beschreiben. Neben der Beschreibung der thematisierten Inhalte, deren Beziehung zueinander sowie deren Reihenfolge stellt der Einsatz von Analogiemodellen für Stromkreise von den teilnehmenden Lehrkräften ein weiteres Erkenntnisinteresse dieser Dissertation dar. Deshalb wird in diesem Kapitel geklärt, was in dieser Dissertation unter dem Begriff *Analogiemodell* verstanden wird. Burde (2018) setzte sich in seiner Dissertation, die gleichzeitig als Ausgangsstudie für das Projekt EPo-EKo (Haagen-Schützenhöfer et al., 2019) betrachtet werden kann, intensiv mit lerntheoretischen Aspekten zu Analogiemodellen auseinander. In diesem Kapitel werden daher die für die Interpretation der Ergebnisse dieser Dissertation notwendigen Konzepte in Bezug auf Analogiemodelle in Anlehnung an Burde (2018) beschrieben. Eine vertiefte Auseinandersetzung ist in der eben genannten Arbeit von Burde zu finden.

Salopp formuliert werden Analogien in der Physik oftmals dazu eingesetzt, um einen bis dato unbekanntem Sachverhalt zu erkennen und auch zu verstehen, unter Zuhilfenahme von Ähnlichkeiten mit Bekanntem (Gentner, 1989a, 1989b; Stavy, 1991; Stepich & Newby, 1988). Eine Analogie stellt dementsprechend einen Vergleich zwischen zwei Phänomenen, Systemen oder Prinzipien dar, die sich in gewissen Eigenschaften ähnlich sind (Coll, France & Taylor, 2005; Duit & Glynn, 1995). Der Einsatz von Analogien bietet sich also insbesondere an, um Einsichten in Phänomene zu erhalten, die immateriell oder mit freiem Auge nicht zugänglich oder erfahrbar sind (Brown & Salter, 2010). Daher spielen Analogien für den Elektrizitätslehreunterricht auch eine bedeutende Rolle.

Die sinnvolle Nutzung von Analogien setzt dementsprechend voraus, dass bei Lernenden ein grundsätzliches Verständnis für einen der Bereiche, die miteinander in Verbindung gebracht werden, vorliegt. Wilbers und Duit (2001) sprechen in diesem Zusammenhang von Post-festum-Analogien, bei denen sowohl das Ziel der Analogiebildung als auch die Begriffe, auf die die Analogie verweist, bekannt sind. Strukturell lässt sich jede Analogie daher in zwei Teilbereiche gliedern: Einerseits gibt es den „Analogbereich“, „Ausgangsbereich“, „analogen Lernbereich“ (Mikelskis-Seifert & Kasper, 2011) oder im englischsprachigen Raum auch „source domain“ oder „base domain“ (Gentner, 1983), die alle als synonym aufzufassen sind. Der Ausgangsbereich definiert jenen Bereich, welcher den Lernenden vertraut sein sollte. Den zweiten Teil der Analogie bildet der „Zielbereich“, „primäre Lernbereich“ oder auch „target domain“, der zu Beginn unbekannter Bereich. Burde (2018) beschreibt, dass Ausgangs- und Zielbereich nicht in jeder Hinsicht übereinstimmen müssen. Diese nicht übereinstimmenden Bereiche des Ausgangs- und Zielbereichs stellen die Grenzen der Analogie dar, die im Unterricht demnach auch herausgearbeitet werden müssen um mögliche Fehlschlüsse von SchülerInnen zu vermeiden (Wilbers & Duit, 2001).

In Abbildung 14 ist eine Analogie zwischen einem Ausgangs- und Zielbereich graphisch dargestellt. Eine solche durch einen „Analogieschluss“ hergestellte Relation zwischen den beiden Bereichen kann jedoch nur eine Hypothese über den Zielbereich darstellen und nicht direkt eine Erklärung des Zielbereichs liefern (Burde, 2018; Hesse, 1963; Tiemann, 1993).

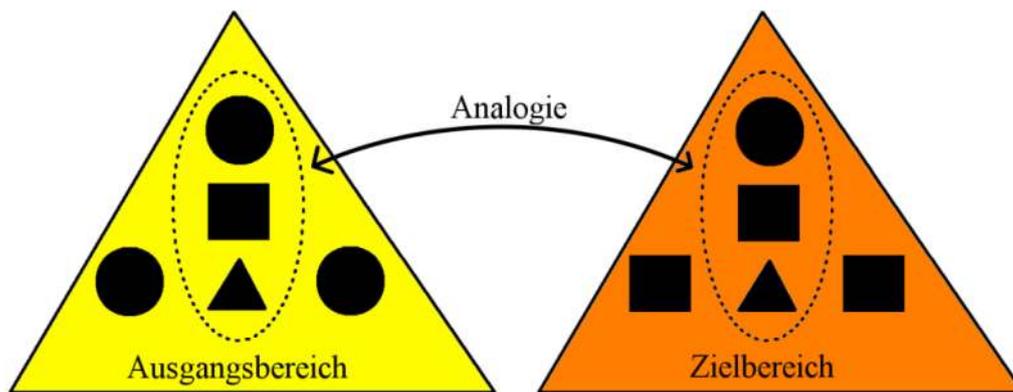


Abbildung 14: Eine Analogie als Ähnlichkeit zwischen einem Ausgangs- und Zielbereich nach Duit und Glynn (1995). Quelle: Burde (2018, S. 56)

Basierend auf diesem Umstand und durch die jeweiligen Grenzen können Analogien jedoch durchaus auch Lernschwierigkeiten provozieren oder SchülerInnen verwirren (Duit & Glynn, 1995; Else, Clement & Rea-Ramirez, 2008; Harrison, 2001). So können Lernende unter Umständen bereits vorhandene Schülervorstellungen vom Ausgangs- in den Zielbereich übertragen, wie es etwa im Kontext der Anfangs-Elektrizitätslehre für den ebenen geschlossenen Wasserkreislauf der Fall ist und in Kapitel 5.4.4 genauer erläutert wird (Schwedes, 1985; Tenney & Gentner, 1985). Die Nutzung von Analogien im (Physik-)Unterricht ist deshalb umstritten und in Bezug auf die Lernwirksamkeit als unsicher zu betrachten (Else et al., 2008; Glynn, 1991; Kircher, Girwidz & Häußler, 2015) oder zumindest sehr stark von den jeweiligen Analogien abhängig.

Zu den oben geschilderten Herausforderungen beim Einsatz von Analogien kommt speziell im Physikunterricht noch hinzu, dass sowohl Ausgangs- als auch Zielbereich im Physikunterricht zumeist selbst Modelle sind, zwischen denen Analogien hergestellt werden. Ein Modell stellt ein zu einem bestimmten Zweck geschaffenes Konstrukt dar. Damit stellt es prinzipiell eine Vereinfachung der Realität dar, kann die Realität selbst jedoch nie in vollem Umfang abbilden (Burde, 2018; Mikelskis-Seifert & Kasper, 2011). Zwischen bestimmten Entitäten des Modells und bestimmten Entitäten des repräsentierten Objektes (Mikelskis-Seifert, Thiele & Wünscher, 2005) werden dabei Analogien hergestellt.

Für den sinnvollen Einsatz von Modellen im Physikunterricht sprechen Harrison und Treagust (2000) davon, dass Modelle den Lernenden vertraut und nachvollziehbar sein sollen. Es muss dabei jedoch eine gewisse Balance zwischen dem Geltungsbereich und der Korrektheit des Modells sowie der Verständlichkeit für

die Lernenden geschaffen werden. Eine tiefergehende Auseinandersetzung ist in Burde (2018) in Anlehnung an Vorarbeiten von Vollmer (1975) zu finden.

Der Begriff eines *Analogiemodells* bezieht sich innerhalb dieser Dissertation also auf die Verwendung von Modellen unter Zuhilfenahme von Analogien für die Erklärung von Phänomenen rund um den einfachen elektrischen Stromkreis. In Kapitel 5.4 werden unterschiedliche Analogiemodelle, die im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht aus der Literatur bekannt sind, näher vorgestellt. Vor dieser Beschreibung von Analogiemodellen wird der Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht in Bayern, Hessen und Österreich in den Kapiteln 5.1 bis 5.3 auf unterschiedlichen Ebenen beschrieben. Kapitel 5.1 widmet sich den in den jeweiligen Ländern und Bundesländern gültigen Lehrplänen, in Kapitel 5.2 (Schulbücher) sowie 5.3 (Unterrichtskonzepte) werden indirekte Lehrplanwirkungen näher beleuchtet.

5 Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht

Elektrizität und der Nutzen von elektrischer Energie sind ein so wesentlicher Teil unserer Gesellschaft, dass ein Alltag ohne Elektrizität kaum noch vorstellbar ist. Klafki (1962) weist dem Thema Elektrizitätslehre bereits 1962 eine Gegenwarts- als auch Zukunftsbedeutung für jedes Individuum sowie der gesamten Gesellschaft zu. Aus dieser hohen Relevanz resultiert auch das Desiderat, junge Menschen möglichst gut auf einen verantwortungsvollen Umgang mit Elektrizität bzw. elektrischer Energie vorzubereiten. Der schulische Physikunterricht nimmt dabei eine zentrale Rolle ein und empirisch gesicherte Ergebnisse darüber, wie die Elektrizitätslehre im Physikunterricht umgesetzt wird, sind deshalb als zentral für die Weiterentwicklung der Unterrichtspraxis zu sehen. Daher soll im Rahmen dieser Dissertation der Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht in der siebten oder achten Jahrgangsstufe von Gymnasial-Physiklehrkräften aus Teilen Deutschlands und Österreichs in Hinblick auf die thematisierten Inhalte sowie eingesetzten Analogiemodelle beschrieben werden. Der Begriff Anfangs-Elektrizitätslehre bezieht sich in der vorliegenden Dissertation auf einen Unterricht, in dem Lernende unter anderem ein erstes Verständnis des Spannungsbegriffs entwickeln sollen.

5.1 Lehrpläne – die Ebene staatlicher Lenkung

Aufgrund der hohen Relevanz von Elektrizität für unser Leben ist es wohl kaum überraschend, dass diese Thematik im Bereich der schulischen Bildung verankert und als fixer Bestandteil von Physikunterricht festgelegt ist.

Zu den wichtigsten Lenkungsinstrumenten auf staatlicher Ebene zählen neben Stundentafeln und zentralen Tests die (Fach-)Lehrpläne. Obwohl die Ergebnisse internationaler Vergleichsuntersuchungen wie TIMSS (Martin, Mullis, Foy & Stanco, 2012) oder PISA (Awisati & González-Sancho, 2016) eine Neuorientierung in der Bildungspolitik nach sich ziehen, stellen Lehrpläne noch immer die maßgebliche normative Vorgabe dar (Vollstädt, Tillmann, Rauin, Höhmann & Tebrügge, 1999). Zwar werden durch Lehrpläne grundlegende (Bildungs-)Ziele oder inhaltliche Themengebiete festgeschrieben, die tatsächliche Gestaltung des Unterrichts bleibt jedoch den einzelnen Lehrkräften überlassen. Vollstädt et al. (1999) sehen unterschiedliche Transformationen, welche die Inhalte

eines staatlichen Lehrplans auf seinem direkten Weg bis zu konkretem Unterricht durchlaufen. In Anlehnung an Goodlad (1998) unterscheiden Vollstädt et al. dabei zwischen vier bzw. fünf Repräsentationsformen eines Lehrplans, die in Abbildung 15 dargestellt sind.

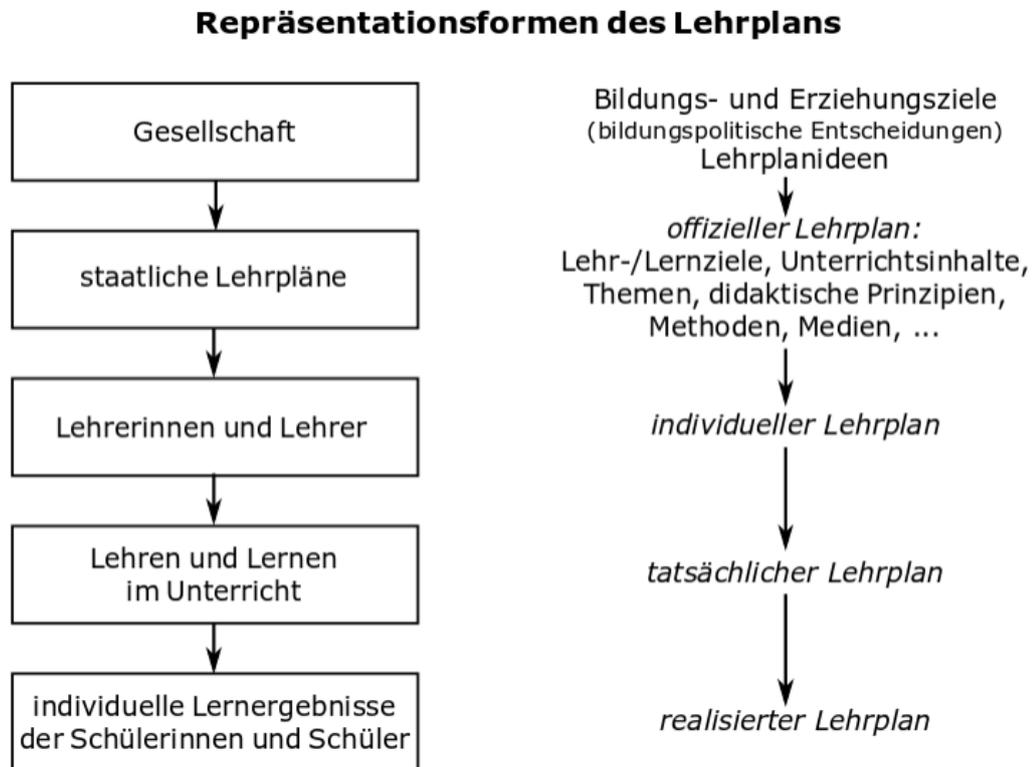


Abbildung 15: Repräsentationsformen eines Lehrplans. Quelle: Vollstädt et al. (1999, S. 15)

Ausgehend von den staatlichen Lehrplänen entwickelt demnach jede Lehrkraft eine ihrem Schulalltag und Kontext angepasste Unterrichtsstrategie, die Vollstädt et al. (1999) als *individuellen Lehrplan* bezeichnen. Dieser kann unter Umständen stark von den ursprünglichen Intentionen des staatlichen Lehrplans abweichen. Dies liegt letztendlich auch daran, dass Lehrkräfte die Vorgaben durch den staatlichen Lehrplan mit ihren individuellen Vorerfahrungen, Ansprüchen und ihrem Best-Practice-Reservoir verbinden und an die konkreten schulischen Unterrichtsbedingungen an ihrer Schule anpassen bzw. anpassen müssen (W. Müller, 2010). Eine weitere Transformation ergibt sich daraus, dass Lehrkräfte im tatsächlichen Unterricht wiederum ad-hoc Entscheidungen treffen und ihren Unterricht an konkrete SchülerInnen anpassen, sodass sich auch der individuelle Lehrplan einer Lehrkraft zum tatsächlich umgesetzten Lehrplan im Unterricht unterscheidet.

Als Ausgangspunkt für die Analyse des tatsächlichen Lehrplans zur Anfangs-Elektrizitätslehre der Lehrkräfte im Rahmen dieser Dissertation werden deshalb an dieser Stelle die zum Zeitpunkt der Durchführung der Studie aktuellen Lehrpläne in Bayern, Hessen und Österreich in Bezug auf die Anfangs-Elektrizitätslehre dar- und gegenübergestellt.

5.1.1 Anfangs-Elektrizitätslehre im bayrischen Lehrplan

Zum Zeitpunkt der empirischen Studie dieser Arbeit (2017/18) ist die Anfangs-Elektrizitätslehre in Bayern im Rahmen des Faches Natur und Technik in der siebten Jahrgangsstufe festgeschrieben. Dabei soll das Thema *Elektrischer Strom* im Umfang von ca. 18 Unterrichtsstunden unterrichtet werden. Die Formulierung im Lehrplan (bayrisches Kultusministerium, 2009) ist in Abbildung 16 dargestellt.

NT 7.1.1 Elektrischer Strom (ca. 18 Std.)

Die Schüler entwickeln eine Modellvorstellung vom elektrischen Stromkreis und lernen ein einfaches Atommodell kennen. Sie können mit den Wirkungen des elektrischen Stroms einfache technische Anwendungen erklären sowie die Gefahren beim Umgang mit Elektrizität besser einschätzen. Zudem erfahren sie, dass in der Technik physikalische Größen und entsprechende Messverfahren benötigt werden.

- elektrischer Stromkreis
 - Bestandteile eines Stromkreises
 - Strom als Bewegung von Ladungen, einfaches Atommodell
 - Überblick über die Wirkungen des elektrischen Stroms, Gefahren beim Umgang mit Elektrizität
 - einfache Stromkreise in Technik und Haushalt
- Magnetismus
 - Dauermagnet
 - Elektromagnet
- Größen zur Beschreibung des elektrischen Stromkreises
 - Stromstärke, Spannung, Widerstand (ohne Ohm'sches Gesetz), Messen elektrischer Größen

Abbildung 16: Ausschnitt aus dem Lehrplan für die siebte Jahrgangsstufe in Bayern im Schuljahr 2017/18. Quelle: bayrisches Kultusministerium (2009, S. 34)

5.1.2 Anfangs-Elektrizitätslehre im hessischen Lehrplan

Die Lehrplanvorgaben gestalten sich in Hessen grundlegend anders als in Bayern und auch in Österreich. Aktuell bilden in Hessen Kerncurricula die curriculare Grundlage des Unterrichts in der Sekundarstufe I. Diese Kerncurricula der jeweiligen Fächer stellen die angestrebten Lernergebnisse in Form von Bildungsstandards bzw. Könnenserwartungen dar. Auf Basis dieser Kerncurricula müssen jedoch alle hessischen Schulen eigene Schulcurricula entwickeln. Im Vergleich zu Bayern und Österreich gibt es dementsprechend in Hessen keinen allgemein verbindlichen Lehrplan, in dem konkrete Inhalte und bzw. ein Inhaltsumfang festgelegt werden. An dieser Stelle kann deshalb keine vergleichbare Auflistung an

zu thematisierenden Inhalten in der Anfangs-Elektrizitätslehre in Hessen gegeben werden.

Beschließen jedoch einzelne Schulen keine Schulcurricula, so gelten für diese neben dem Kerncurriculum die letztgültigen Lehrplanfassungen der G8 (Hessisches Kultusministerium, 2010) und G9 (Hessisches Kultusministerium, 2004) in Hessen. In Abbildung 17 und Abbildung 18 sind die für die Elektrizitätslehre relevanten Passagen aus den letztgültigen Lehrplänen für die G8 dargestellt. In den Abbildung 19 und 20 sind die relevanten Passagen aus den letztgültigen G9-Lehrplänen abgebildet.

7.3	Magnetismus und Elektrizität 1	Std.: ca. 10
Verbindliche Unterrichtsinhalte/Aufgaben:		
1. Magnete	Pole, Kräfte, Elementarmagnete	
2. Stromkreise	Elektrische Leitfähigkeit, geschlossener und offener Stromkreis	
3. Wirkungen des elektrischen Stromes und ihre Nutzung	Magnetische Wirkung des elektrischen Stromes (Vergleich mit Permanentmagnetismus) Licht- und Wärmewirkung, chemische Wirkung	
4. Messung des elektrischen Stromes	Ampèremeter	

Abbildung 17: Ausschnitt aus dem letztgültigen G8-Lehrplan für die siebte Jahrgangsstufe in Hessen im Schuljahr 2017/18. Quelle: hessisches Kultusministerium (2010)

8.2	Elektrizität 2	Std.: ca. 28
Verbindliche Unterrichtsinhalte/Aufgaben:		
1. Grunderscheinungen statischer Elektrizität	Ladungstrennung, Kondensator als Ladungsspeicher, elektrostatische Kraftwirkung Spannung und ihre Messung (Elektroskop, Voltmeter)	
2. Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke	Widerstand, Schaltpläne und Schaltsymbole, Reihen- und Parallelschaltung, Kirchhoffsche Regeln	
3. Umgang mit elektrischen Stromkreisen	Gleich-, Wechselstrom, Elektrizität im Haus, Nutzung von Elektrogeräten, sicherer Umgang mit Elektrizität, Gefahr durch Strom, Verhalten bei Gewitter	

Abbildung 18: Ausschnitt aus dem letztgültigen G8-Lehrplan für die achte Jahrgangsstufe in Hessen im Schuljahr 2017/18. Quelle: hessisches Kultusministerium (2010)

7G.3	Elektrizitätslehre 1	Std.: 17
------	----------------------	----------

Verbindliche Unterrichtsinhalte/Aufgaben:

1. Stromkreise	Elektrische Leitfähigkeit, geschlossener und offener Stromkreis, Schaltpläne und Schaltsymbole, Gefahren des elektrischen Stroms, einfache Modelle vom Stromkreis
2. Wirkungen des elektrischen Stromes und ihre Nutzung	Magnetische Wirkung des elektrischen Stromes (Vergleich mit Permanentmagnetismus) Licht- und Wärmewirkung
3. Messung des elektrischen Stromes	Ampèremeter

Abbildung 19: Ausschnitt aus dem letztgültigen G9-Lehrplan für die siebte Jahrgangsstufe in Hessen im Schuljahr 2017/18. Quelle: hessisches Kultusministerium (2004)

8G.2	Elektrizitätslehre 2	Std.: 18
------	----------------------	----------

Verbindliche Unterrichtsinhalte/Aufgaben:

1. Grunderscheinungen statischer Elektrizität	Ladungstrennung, Kondensator als Ladungsspeicher, elektrostatische Kraftwirkung Spannung und ihre Messung (Elektroskop, Voltmeter)
2. Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke	Widerstand, Schaltpläne und Schaltsymbole, Reihen- und Parallelschaltung, Kirchhoffsche Regeln Modelle des elektrischen Stroms
3. Elektrizität im Alltag	Elektrizität im Haus, Gleich- und Wechselstrom, Nutzung von Elektrogeräten, sicherer Umgang mit Elektrizität, Gefahr durch Strom, Verhalten bei Gewitter

Abbildung 20: Ausschnitt aus dem letztgültigen G9-Lehrplan für die achte Jahrgangsstufe in Hessen im Schuljahr 2017/18. Quelle: hessisches Kultusministerium (2004)

5.1.3 Anfangs-Elektrizitätslehre im österreichischen Lehrplan

Die Anfangs-Elektrizitätslehre ist in Österreich im derzeit aktuellen Lehrplan ebenfalls in der siebten Jahrgangsstufe in Form des festgelegten Lehrstoffs festgeschrieben. Die beiden Themen, die sich der Anfangs-Elektrizitätslehre widmen, sind dabei *Elektrische Phänomene sind allgegenwärtig* sowie *Elektrotechnik macht vieles möglich*. Die konkreten Formulierungen im Lehrplan (BMBWF, 2000) sind in Abbildung 21 dargestellt.

Elektrische Phänomene sind allgegenwärtig:

Ausgehend von Alltagserfahrungen sollen die Schülerinnen und Schüler immer intensiver mit grundlegenden elektrischen Vorgängen im technischen Alltag und in Naturvorgängen vertraut gemacht werden.

- Auswirkungen der elektrisch geladenen Atombausteine auf makroskopische Vorgänge qualitativ verstehen;
- Verschiedene Spannungsquellen als Energieumformer und einfache Stromkreise verstehen; Gleichstrom und Wechselstrom, Stromstärke, Spannung, Widerstand, das Ohmsche Gesetz;
- Elektrische Erscheinungen in Technik und Natur erklären können.

Elektrotechnik macht vieles möglich:

Ausgehend von Erfahrungen der Schülerinnen und Schüler soll ein grundlegendes Verstehen von Aufbau und Wirkungsweise wichtiger elektrischer Geräte erreicht und die Wichtigkeit von Schutz- und Sparmaßnahmen erkannt werden.

- Energieumformung, Arbeitsverrichtung und Wirkungsgrad wichtiger Elektrogeräte verstehen;
- Grundlegendes Sicherheitsbewusstsein im Umgang mit elektrischen Einrichtungen entwickeln (Arten von Sicherungen und Isolation);
- Einsicht in die ökologische Bedeutung von Energiesparmaßnahmen gewinnen und ökologische Handlungskompetenz aufbauen.

Abbildung 21: Ausschnitt aus dem Lehrplan für die siebte Jahrgangsstufe in Österreich im Schuljahr 2017/18. Quelle: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (2000)

5.2 Indirekte Lehrplanwirkungen – Schulbücher

Die in Kapitel 5.1 beschriebenen multiplen Transformationsprozesse an Lehrplanvorgaben beeinflussen und verändern möglicherweise die intendierte, direkte Wirkung von Lehrplänen, und üben auch gewisse indirekte Wirkungen aus. Als Beispiel für indirekte Wirkungen werden Schulbücher und Unterrichtsmaterialien auf Grundlage von aktuell gültigen Lehrplänen entwickelt (W. Müller, 2010), sie spielen bei der Planung sowie auch Gestaltung des Unterrichts eine

große Rolle, wie in Abbildung 22 dargestellt ist. Dementsprechend sind hier zwei Transformationsebenen gegeben: eine durch SchulbuchautorInnen und eine zweite durch Lehrkräfte.

Die Befundlage legt nahe, dass die zweiphasige Transformationskette über Schulbücher vielfach der Realität entspricht. Merzyn (1994) stellte zum Beispiel in einer Befragung von Lehrkräften fest, dass der Großteil der Lehrkräfte Schulbücher sowohl zur Unterrichtsvorbereitung als auch -durchführung nutzen. Dies ist zudem kein rein mitteleuropäisches Phänomen, Banilower et al. (2018) berichten, dass in den USA mehr als 85 % aller Naturwissenschaftslehrkräfte in Middle und High Schools auf kommerzielle Schulbücher für die Unterrichtsvorbereitung und -durchführung zurückgreifen. Zu einem ähnlichen Schluss kommen auch Stern und Roseman (2004), Matthes und Heinze (2005) oder Ogan-Bekiroglu (2007).

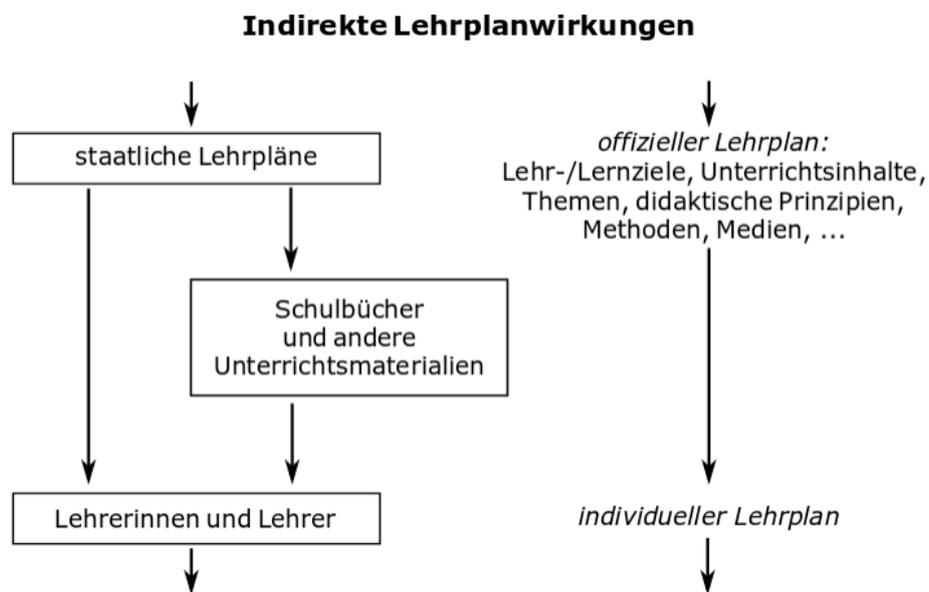


Abbildung 22: Indirekte Lehrplanwirkungen am Beispiel von Schulbüchern und Unterrichtsmaterialien. Quelle: Vollstädt et al. (1999, S. 16)

Aus den vorangegangenen Ausführungen lässt sich ableiten, dass neben staatlichen Lehrplänen (vgl. Kapitel 5.1) auch Schulbücher und ggf. auch gängige Unterrichtskonzepte und darauf beruhende Unterrichtsmaterialien eine maßgeblich lenkende Wirkung für Unterricht haben. Im Kontext dieser Dissertation, in der es u. a. gilt, ein Bild von Elektrizitätslehreunterricht zu zeichnen, wie wir ihn in Bayern, Hessen und Österreich umgesetzt finden, sind daher neben Analysen von Lehrplänen auch solche von Physikschulbüchern und gängigen Unterrichtsmaterialien nötig. Schulbuchanalysen zum Thema liegen aus Hessen (Vairo, 2019)

und Österreich (Rosenberger, 2019) vor. Die Analyse der Schulbücher wurde in beiden Fällen im Zuge einer Abschlussarbeit durchgeführt, Auszüge daraus liegen jedoch auch in publizierter Form vor (Schubatzky, Rosenberger & Haagen-Schützenhöfer, 2019; Wilhelm & Vairo, 2020). In den nächsten beiden Kapiteln 5.2.1 sowie 5.2.2 werden die Ergebnisse dieser Schulbuchanalysen vorgestellt, während in Kapitel 5.3 aus der Literatur bekannte Unterrichtskonzeptionen sowie Unterrichtsmaterialien zur Anfangselektrizitätslehre vorgestellt werden.

5.2.1 Anfangs-Elektrizitätslehre in ausgewählten hessischen Schulbüchern

Vairo (2019) analysierte die Elektrizitätslehrekapitel von insgesamt vier in Hessen zugelassenen Schulbüchern der Sekundarstufe I, diese sind:

- *Dorn/Bader Physik Gymnasium* (Bader & Dorn, 2013)
- *Duden Physik Gesamtband Sekundarstufe I* (Gau, Meyer & Schmidt, 2014)
- *Impulse Physik Sekundarstufe I* (Bredthauer & et al., 2013)
- *Universum Physik, Ausgabe A, Band 1* (Alboreanu-Schirner et al., 2016)

Als Gegenstand der Analyse dienten dabei die Kapitel zur Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe I der jeweiligen Schulbücher. Dabei wurden folgende Inhalte (die Auflistung stellt keine Reihung dar) analysiert (Vairo, 2019):

- Elektrisches Potenzial
- Elektrische Spannung
- Elektrische Stromstärke
- Elektrischer Widerstand
- Leiter und Nichtleiter
- Elektrische Ladung
- Elektrische Leistung
- Elektrische Energie
- Elektrische Arbeit
- Reihenschaltung von Widerständen
- Parallelschaltung von Widerständen
- Ohm'sches Gesetz

Sämtliche Ausführungen in diesem Kapitel sind beziehend auf die Analyse von Vairo (2019) zu sehen. Als Dimensionen der Analyse wurden vier allgemeine Kategorien verwendet, anhand derer die Schulbücher analysiert wurden. Diese sind:

1. Didaktische Merkmale und Sachstruktur
2. Texte und Sprache
3. Bilder
4. Aufgaben

In den folgenden Abschnitten werden diejenigen Untersuchungsergebnisse von Vairo (2019) genauer dargestellt, die für die vorliegende Dissertation relevant sind.

5.2.1.1 Definition des Spannungsbegriffs

Im Zuge der vergleichenden Analyse wurde untersucht, wie die unterschiedlichen Schulbücher den Spannungsbegriff einführen. Eine Übersicht der je Buch verwendeten Definitionen ist Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3: Übersicht der Definitionen des Spannungsbegriffs in den vier hessischen Schulbüchern. Quelle: Vairo (2019, S. 8)

Schulbuch	Definition des Spannungsbegriffs
Dorn/Bader (2013)	Wenn entgegengesetzte Ladungen unter Aufwand von Energie getrennt werden, besteht elektrische Spannung. Bei geschlossenem Stromkreis sorgt die elektrische Spannung für den Antrieb der Elektronen. Dabei wird Energie gewandelt und wieder abgegeben.
Duden (2014)	Die elektrische Spannung gibt an, wie stark der Antrieb des elektrischen Stroms ist.
Impulse (2013)	Die elektrische Spannung ist ein Kennzeichen der elektrischen Quelle. Die elektrische Spannung bestimmt, zusammen mit dem angeschlossenen Gerät, die Stromstärke im Stromkreis.
Universum (2016)	Zur Erzeugung einer Spannung müssen Ladungen getrennt werden. Die Spannung ist ein Maß für gespeicherte elektrische Energie.

Aus Tabelle 3 ist ersichtlich, dass alle vier Schulbücher keine Elementarisierung der Spannung als Differenzgröße wählen. Die im Buch *Dorn/Bader (2013)* sowie

Universum (Alboteanu-Schirner et al., 2016) gewählten Elementarisierungen der Spannung können zumindest als angemessen, im Sinne der didaktischen Rekonstruktion (siehe Kapitel 4), bezeichnet werden, *Dorn/Bader* (2013) weisen zusätzlich darauf hin, dass die Spannung die Ursache des Elektronenantriebs darstellt, im Gegensatz zu einer direkten Gleichsetzung mit dem Antrieb der Elektronen.

Im Buch *Duden* (Gau et al., 2014) wird die Spannung als eine Art Eigenschaft oder Merkmal des elektrischen Stroms definiert. Diese Definition ist als kritisch zu betrachten, ist doch die Auffassung von Spannung als Eigenschaft des elektrischen Stroms eine verbreitete Schülervorstellung (z. B. Wilhelm et al., 2015).

Aus der Definition der Spannung im Buch *Impulse* (Bredthauer & et al., 2013) kann ebenso nicht wirklich abgeleitet werden, dass die elektrische Spannung eine eigenständige physikalische Größe ist.

5.2.1.2 Reihenfolge von Schlüsselbegriffen im Schulbuch

Vairo (2019) stellt eine Übersicht über die zeitliche Reihenfolge der Einführung ausgewählter Schlüsselbegriffe in den analysierten Schulbüchern auf. Diese ist in Tabelle 4 dargestellt.

Zusammenfassend lässt sich in Bezug auf die zeitliche Reihenfolge der Schlüsselbegriffe lediglich feststellen, dass die Schulbücher hier äußerst unterschiedlich vorgehen und sich kein allgemeiner Trend erkennen lässt.

Tabelle 4: Ausgewählte Schlüsselbegriffe, in der zeitlichen Reihenfolge (chronologisch von oben nach unten) in der sie in den Büchern eingeführt werden. Die Position der Begriffe elektrische Stromstärke (dunkelgrau) und elektrische Spannung (hellgrau) wurde hervorgehoben. Quelle: Vairo (2019, S. 39)

Dorn/Bader	Duden	Impulse	Universum
Parallelschaltung	Leiter	Leiter	Leiter
Reihenschaltung	Nichtleiter	Nichtleiter	Nichtleiter
Leiter	Elektrische Stromstärke	Elektrische Ladung	Reihenschaltung
Nichtleiter	Elektrische Spannung	Elektrische Stromstärke	Parallelschaltung
Elektrische Energie	Reihenschaltung	Elektrische Energie	Elektrische Ladung
Elektrische Ladung	Parallelschaltung	Reihenschaltung	Elektrische Spannung
Elektrische Spannung	Elektrischer Widerstand	Parallelschaltung	Elektrische Stromstärke
Elektrische Stromstärke	Ohm'sches Gesetz	Elektrische Spannung	Elektrische Energie
Elektrischer Widerstand	Elektrische Energie	Elektrischer Widerstand	Elektrischer Widerstand
Ohm'sches Gesetz	Elektrische Arbeit	Ohm'sches Gesetz	Ohm'sches Gesetz
Elektrische Leistung	Elektrische Leistung	Elektrische Leistung	Elektrische Leistung
	Elektrische Ladung		

5.2.1.3 Einsatz von Analogiemodellen

Vairo (2019) analysierte auch den Einsatz von Analogiemodellen in den vier von ihm untersuchten hessischen Schulbüchern. Im Buch *Universum* (Alboteanu-

Schirner et al., 2016) wird ein Elektrizitätsfluss und in weiterer Folge auch die Stromstärke mit unterschiedlichen Strömen verglichen, konkret mit einem Menschenstrom (also der Anzahl an SchülerInnen, die eine Treppe hinab laufen) oder einem Wasserstrom. Vairo berichtet ein ähnliches Vorgehen in den Schulbüchern *Duden* (Gau et al., 2014) und *Impulse* (Bredthauer & et al., 2013).

Im Schulbuch *Universum* (Alboteanu-Schirner et al., 2016) wird jedoch zusätzlich die elektrische Spannung analog zu einem Höhenunterschied gesehen. Dazu werden zwei unterschiedlich gefüllte Wassergefäße oder -tanks, die durch einen Schlauch verbunden sind, betrachtet. Die höhere Wassersäule wird dabei als negativer Pol, an dem einen Elektronenüberschuss herrscht, betrachtet. Der Höhenunterschied stellt insgesamt die elektrische Spannung dar.

Die Wasserkreislaufanalogie (siehe Kapitel 5.4.3 und 5.4.4) wird laut Vairo (2019) in allen vier Schulbüchern thematisiert und stellt somit das dominanteste Analogiemodell dar.

5.2.2 Anfangs-Elektrizitätslehre in ausgewählten österreichischen Schulbüchern

Rosenberger (2019) analysierte vier in Österreich offiziell approbierte Schulbücher der Sekundarstufe I. Als Gegenstand der Analyse dienten dabei die Kapitel zur Elektrizitätslehre der jeweiligen Schulbücher. Diese sind:

- *Big Bang 3* (Apolin, 2017)
- *Physik 3* (Gollenz, Breyer, Tentschert & Reichel, 2012),
- *Prisma Physik 3* (Barmeier et al., 2008)
- *Physik verstehen 3* (Kaufmann, Zöchling, Grois & Masin, 2013)

Sämtliche Ausführungen in diesem Kapitel sind beziehungsweise auf Rosenberger (2019) bzw. Schubatzky, Rosenberg und Haagen-Schützenhöfer (2019). Die Analyse der Schulbücher wurde anhand von Sachstrukturdiagrammen durchgeführt, die basierend auf der Arbeit von Brückmann (2009) für eine Analyse von Schulbüchern adaptiert wurden. Dabei wurden folgende Inhalte (die Auflistung stellt keine Reihung dar) analysiert:

- Einfache Stromkreise
- Elektrische Stromstärke
- Elektrische Spannung

- Elektrischer Widerstand
- Parallel- und Serienschaltung
- Strom als Modell
- Das Atommodell
- Ohm'sches Gesetz

5.2.2.1 Definition des Spannungsbegriffs

Im Zuge der vergleichenden Analyse wurde zudem untersucht, wie die unterschiedlichen Schulbücher den Spannungsbegriff einführen. Eine Übersicht der Definitionen in den ausgewählten österreichischen Schulbüchern ist Tabelle 5 zu entnehmen.

Zusätzlich zu den hier beschriebenen Definitionen nutzen die Schulbücher *Big Bang 3*, *Physik 3* und *Prisma Physik 3* einen analogen Lernbereich, um die Definition der elektrischen Spannung zu unterstützen (Rosenberger, 2019). Die Definition der elektrischen Spannung im Buch *Physik verstehen 3* (Kaufmann et al., 2013) ist kritisch zu betrachten. Stellt die elektrische Spannung zwar die Ursache für Elektronenströmungen in elektrischen Leitern dar, ist sie aber nicht der Grund für die Tatsache, dass sich Elektronen prinzipiell bewegen können.

Tabelle 5: Übersicht der Definitionen des Spannungsbegriffs in den vier österreichischen Schulbüchern.

Schulbuch	Definition des Spannungsbegriffs
Big Bang 3 (2017, S. 69)	Am besten kannst du Spannung beim Vergleichen mit Wasser verstehen. Ein Höhenunterschied bringt Wasser zum Fließen, eine Spannung die Ladungen. Je größer der Höhenunterschied beim Wasser, desto mehr Energie ist gespeichert. Je größer die Spannung der Batterie, desto mehr Energie ist gespeichert. Deshalb kann man die Spannung als „elektrischen Höhenunterschied“ bezeichnen.
Prisma Physik 3 (2008, S. 64)	Elektrische Spannung ist die Voraussetzung dafür, dass ein elektrischer Strom fließt. Die Spannung gibt an, wie stark die Elektronen angetrieben werden.
Physik 3 (2012, S. 60)	Der Unterschied in den elektrischen Ladungszuständen der beiden Pole einer Stromquelle bewirkt eine elektrische Spannung U . Die Einheit der elektrischen Spannung ist das Volt (V). Die Spannung ist die Ursache für das Fließen eines elektrischen Stromes in einem Stromkreis.
Physik verstehen 3 (2013, S. 62)	Unter der elektrischen Spannung versteht der Physiker den „Antrieb“ der Elektronen, also die Ursache, weshalb sich Elektronen bewegen können. Zwischen zwei Körpern herrscht eine elektrische Spannung, wenn sie verschieden stark geladen sind. Je größer der Ladungsunterschied ist, desto größer ist die Spannung.

5.2.2.2 Reihenfolge von Schlüsselbegriffen im Schulbuch

Auch Rosenberger analysiert die zeitliche Abfolge von vorab festgelegten, definierten Schlüsselbegriffen. Die Auswahl der Begriffe unterscheidet sich jedoch von der bei Vairo (2019) leicht, aufgrund der unterschiedlichen Lehrpläne in Hessen und Österreich.

Tabelle 6: Ausgewählte Schlüsselbegriffe, in der zeitlichen Reihenfolge (von oben nach unten) wie sie in den untersuchten österreichischen Büchern eingeführt werden. Die Position der Begriffe elektrische Stromstärke (dunkelgrau) und elektrische Spannung (hellgrau) wurde hervorgehoben. Quelle: Schubatzky et al. (2019)

Big Bang 3	Physik 3	Prisma Physik 3	Physik verstehen 3
Atommodell	Einfache Stromkreise	Elektrische Ladung	Elektrische Ladung
Elektrische Ladung	Elektrische Ladung	Atommodell	Atommodell
Modellvorstellung Strom	Gleichstrom und Wechselstrom	Einfache Stromkreise	Einfache Stromkreise
Leiter und Nichtleiter	Elektrische Stromstärke	Wirkungen des elektrischen Stroms	Leiter und Nichtleiter
Elektrische Stromstärke	Elektrische Spannung	Serien- und Parallelschaltung	Elektrische Spannung
Elektrische Spannung	Elektrischer Widerstand	Elektrische Stromstärke	Elektrische Stromstärke
Elektrischer Widerstand	Ohm'sches Gesetz	Elektrische Spannung	Batterien und Akkumulatoren
Ohm'sches Gesetz	Parallel- und Serienschaltung	Elektrischer Widerstand	Solar-, Thermo- und Piezoelektrizität
Parallel- und Serienschaltung	Atommodell	Ohm'sches Gesetz	Elektrischer Widerstand
Gleichstrom und Wechselstrom	Elektrolyse	I, U und R in Serien- und Parallelschaltung	Serien- und Parallelschaltung
Batterien und Akkumulatoren	Batterien und Akkumulatoren	Elektrische Leistung	Ohm'sches Gesetz
Elektrische Leistung	Solar- und Thermoelektrizität		Elektrische Leistung
Wirkungen des elektrischen Stroms			

5.2.2.3 Einsatz von Analogiemodellen

Rosenberger (2019) analysierte auch die Verwendung von Analogiemodellen in den vier ausgewählten österreichischen Schulbüchern. An dieser Stelle wird ein

Überblick über die eingesetzten Analogiemodelle gegeben. Insgesamt zeigt sich dabei, dass drei der vier analysierten Schulbücher Analogiemodelle einsetzen, ein Schulbuch verzichtet gänzlich auf darauf. In Tabelle 7 sind eingesetzte Analogiemodelle, welche für die Einführung von ausgewählten Inhalten verwendet werden, aufgelistet.

Tabelle 7: Genutzte Analogien und Analogiemodelle in den vier untersuchten Schulbüchern. Alle Inhalte, die anhand einer Wasseranalogie eingeführt werden, sind grau markiert. Quelle: Schubatzky et al. (2019, S. 7)

	„Physik 3“	„Prisma Physik 3“	„Physik verstehen 3“	„Big Bang 3“
Elektrizitätsfluss	Wasserfluss in einem Rohr	Schülerstrom	-	Wasserfluss in einem Rohr
Stromstärke	-	Vergleich mit Luft- und Verkehrsstrom	-	-
Spannung	Vergleich mit Wasserdruck in einem Rohr	Vergleich mit einer Pumpe in einem offenen Wasserkreislauf	-	Vergleich mit einem Pumpspeicherkraftwerk
Widerstand	Vergleich eines Wasserrohrdurchmessers mit Widerstandsdurchmesser	-	-	Vergleich mit einem Pumpspeicherkraftwerk
Serien- und Parallelschaltung	-	-	-	Vergleich mit einem Pumpspeicherkraftwerk

Es zeigt sich also auch für österreichische Schulbücher eine klare Dominanz von Wasser-Analogien in gängigen Schulbüchern. Aufgrund dieser ist anzunehmen, dass diese Art von Analogiemodellen auch von den an dieser Dissertationsstudie teilnehmenden Lehrkräften gehäuft eingesetzt wird. In der Analyse der von den teilnehmenden Lehrkräften eingesetzten Analogiemodellen in Kapitel 8.2.3 wird

daher ein besonderes Augenmerk auf den Einsatz von wasserbezogenen Analogiemodellen geworfen.

5.3 Indirekte Lehrplanwirkungen – Unterrichtskonzepte

Neben Schulbüchern üben auch entwickelte Unterrichtsmaterialien und Unterrichtskonzeptionen indirekte Lehrplanwirkungen nach Vollstädt et al. (1999) aus. In diesem Kapitel werden daher fünf für die Interpretation der Ergebnisse dieser Dissertationsstudie relevante Unterrichtskonzepte für den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht dargestellt, die im deutschsprachigen Raum seit den 90er Jahren entwickelt und zu einem Teil auch empirisch evaluiert wurden. Eine detaillierte Beschreibung dieser sowie weiterer Unterrichtskonzepte findet sich in Burde (2018).

5.3.1 Unterrichtskonzept nach Muckenfuß und Walz

Das von Muckenfuß und Walz (1997) entwickelte Unterrichtskonzept für die Sekundarstufe I stellt die elektrische Energieübertragung im Zuge von lebenspraktischen Anwendungen in den Fokus. Das Ziel dieses Unterrichtskonzeptes ist es also vor allem, sogenanntes Orientierungswissen (Muckenfuß, 2006) statt spezifisches Verfügungswissen für zum Beispiel zukünftige Ingenieure oder PhysikerInnen, zu vermitteln.

Nach einer einführenden Betrachtung der Relevanz von Elektrizität für unsere Zivilgesellschaft wird der elektrische Stromkreis als ein System zur Energieübertragung thematisiert. Vor der Einführung der Grundgrößen elektrische Spannung und elektrische Stromstärke wird das Konzept des Energiestroms behandelt. Mithilfe eines handgetriebenen Generators sollen SchülerInnen einen physiologischen Eindruck davon bekommen, was es bedeutet, einen Energiestrom für unterschiedliche Alltagsgeräte zu generieren und aufrecht zu erhalten. Dieser Alltagsbezug zieht sich durch das gesamte Unterrichtskonzept.

Anschließend wird in diesem Unterrichtskonzept nach einem kurzen Block zur Elektrostatik auch eine mikroskopische Modellvorstellung für elektrischen Strom eingeführt. Auf dieser mikroskopischen Darstellung aufbauend werden schließlich auch die Größen elektrische Stromstärke (im Unterrichtskonzept auch als „Elektrizitätsstrom“ bezeichnet) sowie elektrischer Widerstand behandelt.

Basierend auf der Erkenntnis, dass bei gleichem Elektrizitätsstrom (bzw. gleicher Stromstärke) unterschiedliche Energieströme vorhanden sein können, wird die Größe der elektrischen Spannung als weitere notwendige Größe thematisiert. Quantitativ wird die elektrische Spannung über die Gleichung $P = \frac{U}{I}$ definiert, wobei die Autoren (Muckenfuß und Walz, 1997) die elektrische Spannung als „ein Maß für den von der Quelle zum Verbraucher fließenden Energiestrom, der durch einen zirkulierenden Ladungsträgerstrom von 1 Ampere erzeugt wird“ (S. 44) bezeichnen. Muckenfuß und Walz (1997) weisen jedoch selbst daraufhin, dass die hier empfohlene Definition des Spannungsbegriffs im weiterführenden Unterricht, aber auch bereits bei der Thematisierung von offenen Stromkreisen, an seine Grenzen trifft. Gleixner (1998) merkt zudem an, dass ein derartiges Vorgehen eine nicht ausreichende Differenzierung des Spannungs- mit dem Kraftbegriff nach sich ziehen kann, weshalb SchülerInnen die elektrische Spannung unter Umständen nicht als Differenz- sondern Absolutgröße wahrnehmen könnten. Eine empirische Evaluierung dieses Unterrichtskonzepts liegt zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Arbeit nicht vor.

5.3.2 Unterrichtskonzept nach Schwedes und Dudeck

Von Mitte der 80er bis ca. Mitte der 90er Jahre wurde an der Universität Bremen ein Unterrichtskonzept für die Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe I entwickelt (Schwedes & Schilling, 1984; Schwedes & Dudeck, 1993; Schwedes, Dudeck & Seibel, 1995). Im Fokus dieses Unterrichtskonzeptes steht die Nutzung einer ebenen, geschlossenen Wasserkreislaufanalogie zur Erklärung von Phänomenen elektrischer Stromkreise. Von den insgesamt 18 entwickelten und vorgeschlagenen Unterrichtsstunden beziehen sich zwölf auf die Auseinandersetzung mit Wasserkreisläufen. Dies führen die AutorInnen letztendlich darauf zurück, dass durch die intensive Thematisierung von Wasserkreisläufen ein erfolgreicher Analogietransfer gefördert werden soll.

Insgesamt erweist sich dieses Analogiemodell laut AutorInnen jedoch teils als problematisch, vor allem die Beschreibung vorherrschender Druckverhältnisse in Wasserkreisläufen bereitet SchülerInnen große Schwierigkeiten (Schwedes & Schilling, 1983). Das Analogiemodell des Wasserkreislaufes selbst ist in Kapitel 5.4.4 näher beschrieben.

In der finalen Version des Unterrichtskonzeptes setzen Schwedes et al. (1995) deshalb auf den Einsatz einer Doppelwassersäule anstatt einer regulären Tauchpumpe (siehe Kapitel 5.4.4), um den Differenzcharakter der elektrischen Spannung weiter hervorzuheben, aber auch um der Konstantstromquellenvorstellung (Schecker et al., 2018) entgegenzuwirken.

Insgesamt bleibt dennoch die Kritik, dass SchülerInnen meist ohne entsprechendes physikalisches Vorwissen mit geschlossenen Wasserkreisläufen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht konfrontiert werden und daher zuerst unter erheblichem Zeitaufwand die Gesetzmäßigkeiten in Wasserkreisläufen thematisiert werden müssen. Dabei stellt sich sowohl die Frage, inwiefern dieser Zugang lernökonomisch als auch unter Einhaltung der aktuellen Lehrpläne möglich ist (Burde, 2018).

5.3.3 Unterrichtskonzept nach Gleixner

An der LMU München wurde Ende der 90er Jahre im Zuge einer Dissertation ein Unterrichtskonzept für die Sekundarstufe I auf Basis einer Höhenanalogie, welches anhand von Stäbchen dargestellt wird, entwickelt (Gleixner, 1998). Bei diesem sogenannten Stäbchenmodell (siehe Kapitel 5.4.2) werden jedem elektrischen Bauteil eines Stromkreises zwei Stäbchen zugewiesen, die Höhe der Stäbchen stellt das vorherrschende elektrische Potenzial dar, wie in Abbildung 23 dargestellt. Die Grundidee dieses Unterrichtskonzept stellt also die Konzeptualisierung der elektrischen Spannung als Höhenunterschied zwischen den Stäbchen dar.

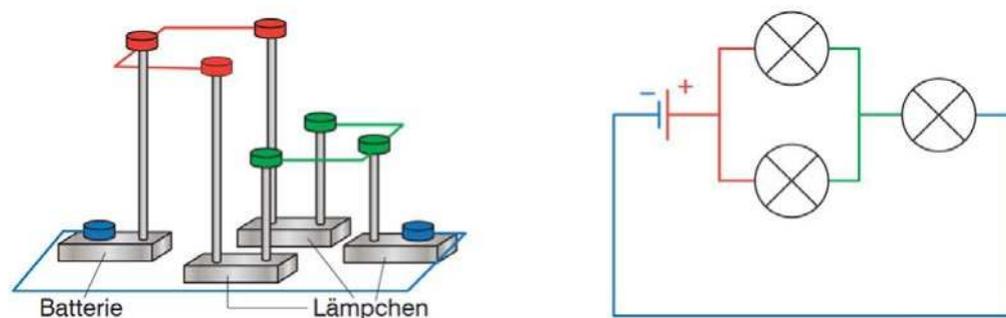


Abbildung 23: Das Münchner Stäbchenmodell nach Gleixner. Quelle: Burde & Wilhelm (2017, S. 11), vgl. Koller (2008, S. 122)

Mithilfe des Stäbchenmodells soll vor allem ein verstärktes qualitatives Verständnis elektrischer Stromkreise bei SchülerInnen der Sekundarstufe I erreicht werden. Dazu wird unter anderem ein ursprünglich von Wiesner et al. (1982)

entwickelter Ansatz eingesetzt, bei dem Magnetnadeln für eine qualitative Heranführung an Stromstärken- und Stromrichtungsmessungen verwendet werden. Zusätzlich werden wie beim Unterrichtskonzept nach Muckenfuß und Walz (1997) handgetriebene Generatoren eingesetzt, um zu zeigen, dass ständig Arbeit verrichtet werden muss, um ein Lämpchen leuchtend zu halten.

Obwohl das Unterrichtskonzept auf ein qualitatives Verständnis sowie auf die Entwicklung eines eigenständigen Spannungskonzeptes bei SchülerInnen abzielt, formulieren Burde (2018) sowie Gleixner (1998) selbst einige Kritikpunkte. Burde weist darauf hin, dass, obwohl ein Ziel des Konzeptes die Entwicklung eines eigenständigen Spannungsbegriffs ist, sich die erste Hälfte des Unterrichtskonzeptes zu sehr auf den elektrischen Strom, elektrischen Widerstand sowie die elektrische Stromstärke konzentriert. Dies kann laut Burde (2018) dazu führen, dass SchülerInnen möglicherweise in der Fehlvorstellung bestärkt werden, Stromkreise immer aus der Sicht des Stroms zu analysieren.

Als ein weiterer Kritikpunkt kann die Darstellung des elektrischen Potentials anhand des Stäbchenmodells selbst gesehen werden. Zwar wird anhand der Höhenunterschiede die elektrische Spannung dargestellt, das Modell liefert jedoch keinerlei Visualisierung für den elektrischen Widerstand oder die elektrische Stromstärke. Zusätzlich bietet dieses Analogiemodell auch keine tiefere Erklärung für das elektrische Potential und bleibt damit sehr abstrakt. Dies resultiert unter anderem in einem hohen *cognitive load* (Sweller, 2011) für SchülerInnen, da dieses Modell erst entschlüsselt werden muss. So erscheinen die Begriffe „elektrisch hoch“ und „elektrisch tief“ für viele SchülerInnen suspekt (Gleixner, 1998).

Nichtsdestotrotz berichtet Gleixner in seiner Dissertation (1998), dass SchülerInnen, die anhand dieses Unterrichtskonzeptes unterrichtet wurden, besser zwischen den Konzepten der elektrischen Stromstärke und Spannung differenzieren. Auch die Fokussierung auf ein qualitatives Verständnis elektrischer Stromkreise wirkt sich laut Gleixner positiv aus.

5.3.4 Unterrichtskonzept nach Koller und Späth

Rund zehn Jahre nach Fertigstellung der Dissertation von Gleixner wurde ein weiteres Unterrichtskonzept zum Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht entwickelt. Ursprünglich von Koller (2008) vorgeschlagen wurde dieses von Späth

(2009) vor allem hinsichtlich der eingesetzten Aufgaben und der Komplexität der eingesetzten Schülertexte überarbeitet. Dieses Unterrichtskonzept zeichnet aus, dass gleich wie bei Gleixner auf eine mikroskopische Darstellung des elektrischen Stroms verzichtet wird. Stattdessen wird innerhalb des Lehrgangs von „fließender Elektrizität“ gesprochen.

Dieses Unterrichtskonzept setzt im Allgemeinen einige Ansätze ein, die sich in den vorhergehenden Unterrichtskonzepten bewährt haben: Handgeneratoren (Muckenfuß & Walz, 1997), Magneten zum Nachweis der elektrischen Stromstärke bzw. um der Stromverbrauchs- und Zweizuführungsvorstellung (Wilhelm & Hopf, 2018) entgegenzuwirken (Wiesner et al., 1982) sowie das Stäbchenmodell nach Gleixner (1998). Das elektrische Potenzial wird in diesem Unterrichtskonzept jedoch zuerst in einer Analogie zum Wasserdruck thematisiert und schließlich mit dem Münchner Stäbchenmodell verglichen. Für die Visualisierung des Potenzials wird zudem eine Farbkodierung verwendet. Für die Thematisierung des einfachen Stromkreises wird in diesem Unterrichtskonzept zudem auf die Fahrradkettenanalogie zurückgegriffen, die in Kapitel 5.4.1 näher beschrieben ist.

Analog zum Unterrichtskonzept von Gleixner (1998) formuliert Burde (2018) auch hier die Kritik, dass das Unterrichtskonzept zu sehr auf die Begriffe Strom und elektrische Stromstärke fokussiert. Die elektrische Spannung bzw. das elektrische Potenzial werden demnach erst in den letzten beiden der insgesamt acht vorgeschlagenen Unterrichtsstunden thematisiert.

In der empirischen Evaluation eines Unterrichts auf Basis des Unterrichtskonzepts stellte sich in einer Treatment-Kontrollgruppen-Studie mit insgesamt 16 Klassen das Konzept dennoch als lernförderlicher heraus als traditioneller Unterricht (Späth, 2009).

5.3.5 Unterrichtskonzept nach Burde

Wiederum rund zehn Jahre nach der Veröffentlichung des Unterrichtskonzepts von Koller und Späth wurde an der Goethe-Universität Frankfurt von Burde (2018) ein weiteres Unterrichtskonzept zum Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht entwickelt. Dieses Unterrichtskonzept bildet zeitgleich den Startpunkt des Rahmenprojekts dieser Arbeit, EPo-EKo (Haagen-Schützenhöfer et al., 2019). Das Studiendesign des Gesamtprojekts ist in Kapitel 6.1 näher beschrieben.

In diesem Unterrichtskonzept stehen vor allem zwei Aspekte im Vordergrund. Einerseits soll ein qualitatives Verständnis elektrischer Stromkreise bei SchülerInnen der Sekundarstufe I gefördert werden, andererseits soll anhand des Unterrichtskonzepts vor allem die Entwicklung eines eigenständigen Spannungskonzepts ermöglicht werden.

Die grundlegende Idee hinter dem Unterrichtskonzept ist es, das elektrische Potenzial analog zum Luftdruck darzustellen und zu visualisieren (Burde, 2018). Dazu wird an einer intuitiven Luftdruckvorstellung von SchülerInnen angeknüpft, im Sinne von „komprimierte Luft steht unter Druck, drückt gegen Wände und hat das Bestreben sich auszudehnen“ (Burde & Wilhelm, 2015b, S. 28) (siehe Kapitel 5.4.7).

Ebenso wie Koller und Späth setzt auch Burde auf eine Farbcodierung des elektrischen Potenzials, wobei Burde eine feste Farbverteilung vorgibt: Bereiche mit elektrisch hohem Druck werden rot kodiert, während Bereich niedrigen elektrischen Drucks blau kodiert werden. Diese Farbverteilung widerspricht jedoch der physikalischen Konvention, dass elektrische Pluspole üblicherweise rot und Minuspole blau dargestellt werden. Dieser Bruch mit der üblichen Konvention im Rahmen des Unterrichtskonzepts kann daher ein gewisses Implementierungsressentiment bei Lehrkräften hervorrufen, aber auch SchülerInnen verwirren, die zu Lernzwecken weitere Materialien verwenden, die nicht auf dieses Unterrichtskonzept aufbauen.

Im Unterschied zu den Unterrichtskonzepten von Gleixner sowie Koller und Späth wird der Fokus des Unterrichtskonzepts hier klar auf den Spannungsbegriff gelegt. So wird die elektrische Spannung (elektrischer Druckunterschied) vor der Thematisierung von geschlossenen elektrischen Stromkreisen behandelt, um die elektrische Spannung als Primärkonzept bei SchülerInnen zu verankern.

An der Dissertationsstudie von Burde (2018) nahmen insgesamt 790 SchülerInnen der Jahrgangsstufe sieben und acht in 36 Klassen teil. Darin stellte sich der Unterricht auf Basis dieses Unterrichtskonzepts als lernförderlicher im Vergleich zu traditionellem Unterricht heraus. In dieser Studie zeigte sich, dass Burschen stärker von diesem Unterrichtskonzept profitierten als Mädchen (Burde, 2018), mit einem kleinen Effekt von $d = .31$.

Innerhalb der Studie wurden zudem einige mögliche Punkte für eine Weiterentwicklung dieses Unterrichtskonzepts identifiziert, die in Burde (2018) beschrieben werden. Im EPo-Strang des Projekts EPo-EKo (siehe Kapitel 6.1) wird deshalb eine weiterentwickelte Version dieses Unterrichtskonzepts eingesetzt (Burde et al., 2019). Zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Arbeit liegen zur empirischen Evaluierung dieses überarbeiteten Unterrichtskonzepts in den Jahrgangsstufen sieben und acht nur vorläufige Ergebnisse vor (Burde et al., 2020). In einer Analyse des Lernerfolgs von vorläufig 1459 SchülerInnen in 76 Klassen stellte sich auch in dieser Studie ein Unterricht auf Basis des EPo-Konzeptes im Vergleich zu traditionellem Unterricht als signifikant lernförderlicher heraus. Dieser traditionelle Unterricht ist letztendlich Analysegegenstand innerhalb der vorliegenden Dissertationsstudie.

Als Kritikpunkt des Unterrichtskonzepts von Burde lässt sich die stark fachsystematische Ausrichtung des Unterrichtskonzeptes anführen, so zeigt sich in der vorläufigen Analyse eine negative Interessensentwicklung während des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts nach dem EPo-Konzept, während das Fachinteresse im traditionellen Unterricht steigt (Burde et al., 2020). Ein Ziel des Projekts EPo-EKo ist es schließlich, diese Problematik anhand einer Kontextorientierung des Unterrichtskonzepts aufzugreifen, siehe Kapitel 6.1

5.4 Analogiemodelle im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht

In Kapitel 4.2 wurden die allgemeinen Grundlagen zum Lernen mit Analogien, Modellen und Analogiemodellen in ihren wesentlichen Zügen umrissen. In diesem Kapitel werden nun konkret gängige bzw. aus der Literatur bekannte Analogiemodelle für den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht beschrieben, sofern diese für die Interpretation der Ergebnisse des empirischen Teils dieser Studie relevant sind. Eine detailliertere Beschreibung ist in der Dissertation von Burde (2018) zu finden.

5.4.1 Fahrradkettenmodell

Dieses Modell greift auf eine Analogie zwischen einem einfachen elektrischen Stromkreis und dem Kreislauf der Kettenglieder eines Fahrradtriebs zurück,

wie in Abbildung 24 dargestellt. Dieses Analogiemodell nutzt dementsprechend ein Fahrrad bzw. eine Fahrradkette als Ausgangsbereich.

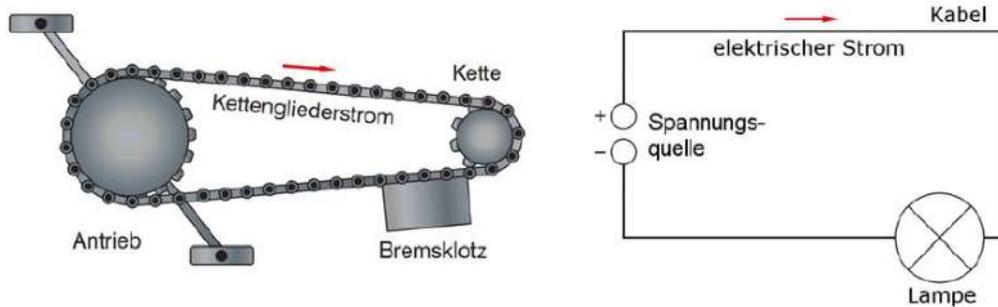


Abbildung 24: Vergleich einer Fahrradkette mit einem einfachen elektrischen Stromkreis.
Quelle: Burde (2018, S. 70), nach Burde und Wilhelm (2017, S. 12)

Dieses Analogiemodell kann aus fachdidaktischer Sicht vor allem dazu eingesetzt werden, den Unterschied zwischen zirkulärem Ladungsträgerstrom und linearem Energiestrom in einem einfachen elektrischen Stromkreis zu thematisieren (Härtel, 2012). Zudem bietet es sich dafür an, den Systemcharakter elektrischer Stromkreise zu thematisieren. Tritt eine Person in die Fahrradpedale, so wird die Geschwindigkeit aller Glieder der Fahrradkette nahezu instantan erhöht. Lassen sich Energieströme anhand des Fahrradkettenmodells gut demonstrieren, so liegen die Grenzen dieses Analogiemodells in einer Betrachtung von verzweigten elektrischen Schaltungen. Parallelschaltungen lassen sich nicht sinngemäß anhand des Fahrradkettenmodells darstellen, auch Reihenschaltungen von Fahrradketten sind nicht plausibel erklärbar. Zudem wird die elektrische Spannung anhand des Fahrradkettenmodells häufig als „Antrieb des elektrischen Stroms“ (Rhöneck & Völker, 1982) konzeptualisiert und entspricht somit keinem fachlich angemessenen Konzept der elektrischen Spannung als Differenzgröße. Burde (2018) verweist hierauf bezugnehmend auf die prinzipielle Möglichkeit, die Differenz der mechanischen Spannung in der Kette mit dem elektrischen Potenzial zu vergleichen. Der Vergleich bleibt dabei für Lernende jedoch sowohl auf konzeptueller Ebene schwierig als auch unanschaulich.

Eine weitere Grenze dieser Analogie stellt die Energieübertragung selbst dar. Die Energieübertragung findet in einem elektrischen Stromkreis über beide Leitungen, die ein Elektrogerät mit der Spannungsquelle verbinden, statt. Beim Fahrradkettenmodell wird die Energie lediglich über die Zugseite der Fahrradkette

übertragen. Härtel (2012) schlägt als mögliche Alternative einen Hula-Hoop-Reifen, an dem sowohl gezogen als auch geschoben werden kann, vor.

5.4.2 Stäbchenmodell

In Kapitel 5.3.3 wurde bereits das von Gleixner (1998) an der LMU entwickelte Unterrichtskonzept vorgestellt. In diesem wird ein Analogiemodell für elektrische Stromkreise verwendet, welches das elektrische Potenzial analog zum Höhenpotenzial betrachtet. Die elektrische Spannung entspricht dabei dem Höhenunterschied zwischen zwei Punkten. Wie in Abbildung 25 ersichtlich wird das elektrische Potenzial in diesem Modell mithilfe von Stäbchen dargestellt. Einem elektrischen Bauteil werden dementsprechend zwei Stäbchen zugewiesen, die Höhendifferenz zwischen diesen beiden Stäbchen entspricht wiederum der elektrischen Spannung. Auf diese Art und Weise lassen sich Spannungsverhältnisse bei Parallel-, Reihen- und auch bei gemischten Schaltungen vergleichsweise einfach analysieren.

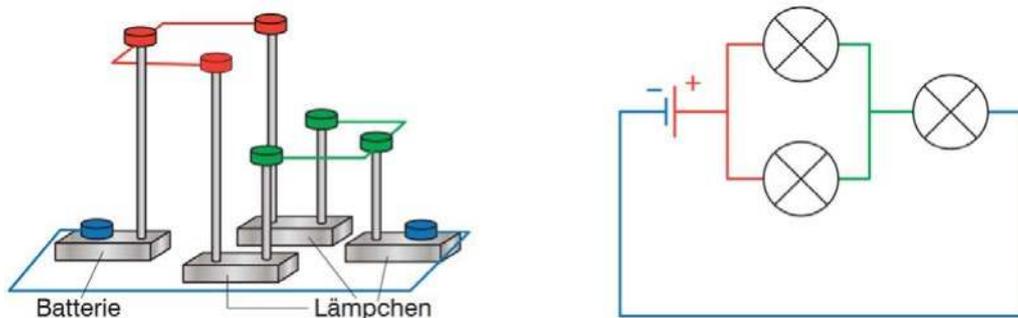


Abbildung 25: Das Münchner Stäbchenmodell nach Gleixner. Quelle: Burde & Wilhelm (2017, S. 11), vgl. Koller (2008, S. 122)

Wie bereits in Kapitel 5.3.3 beschrieben bleibt bei einer derartigen Darstellung der elektrischen Spannung eine tiefergehende Erklärung des elektrischen Potenzials aus. Das Stäbchenmodell hat einen überaus abstrakten Charakter, womit vor allem jüngere SchülerInnen überfordert werden können.

5.4.3 Offener Wasserkreislauf

Ein weiteres Analogiemodell, in dem auf eine Höhenanalogie zurückgegriffen wird, ist der offene Wasserkreislauf wie in Abbildung 26 dargestellt.

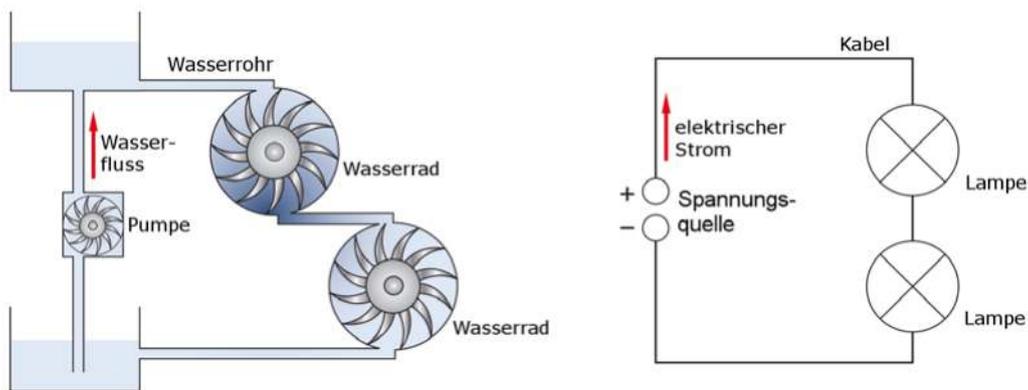


Abbildung 26: Analogiemodell des offenen Wasserkreislaufs. Quelle: Burde (2018, S. 68), nach Burde und Wilhelm (2017, S.11)

Ein Vorteil des offenen Wasserkreislaufs gegenüber dem Stäbchenmodell ist sicher, dass SchülerInnen Wasserströmungen aufgrund von Höhendifferenzen aus ihrem Alltag kennen. Zusätzlich erlaubt dieses Analogiemodell nicht nur die elektrische Spannung anhand der Höhendifferenz darzustellen, sondern auch die elektrische Stromstärke. Diese entspricht im offenen Wasserkreislauf der Wasserströmung selbst. Elektrische Widerstände werden in diesem Analogiemodell häufig durch Wasserräder repräsentiert und Spannungsquellen werden häufig mit Wasserpumpen verglichen.

Neben gewissen Vorteilen dieses Analogiemodells lassen sich auch Probleme bzw. Grenzen identifizieren. So ist es zwar für SchülerInnen aus ihrer Alltagserfahrung heraus plausibel, dass Wasser aufgrund einer Höhendifferenz strömt, geschlossene Wasserkreisläufe sind Lernenden in der Regel jedoch nicht vertraut. Hinzu kommt, dass sich vor allem der Ein- und Ausschaltvorgang bei einem elektrischen Strom grundlegend von einem „Einschalten“ eines offenen Wasserkreislaufs unterscheidet. Schaltet man die Pumpe in einem offenen Wasserkreislauf ein, so dauert es erst einmal eine gewisse Zeit, bis eine gewisse Menge Wasser nach oben gepumpt wurde und beim Wasserrad ankommt. Wird die Wasserpumpe schließlich ausgeschaltet, so drehen sich die Wasserräder noch eine gewisse Zeit weiter. Die Übertragung dieser Gegebenheiten auf den elektrischen Stromkreis führt nicht nur zu physikalisch falschen Aussagen, sondern kann bei SchülerInnen auch die Vorstellung fördern, dass elektrischer Strom in einer Batterie gespeichert ist und von dieser „ausgesendet“ wird (Schecker et al., 2018). Zusätzlich können SchülerInnen bereits die Alltagserfahrung gemacht haben, dass sich strömendes Wasser bei einer Verzweigung meistens in gleiche Teile aufteilt und hinter einem Wasserrad eine geringere Strömungsgeschwindigkeit

herrscht als davor. Diese Überlegungen können wiederum sequentielles oder lokales Denken von SchülerInnen bei elektrischen Stromkreisen bevorteilen (Wodzinski, 2013).

5.4.4 Geschlossener ebener Wasserkreislauf

Das vermutlich bekannteste Analogiemodell für den elektrischen Stromkreis stellt der ebene geschlossene Wasserkreislauf dar. Eine Gegenüberstellung dieser beiden Kreisläufe ist in Abbildung 27 dargestellt.

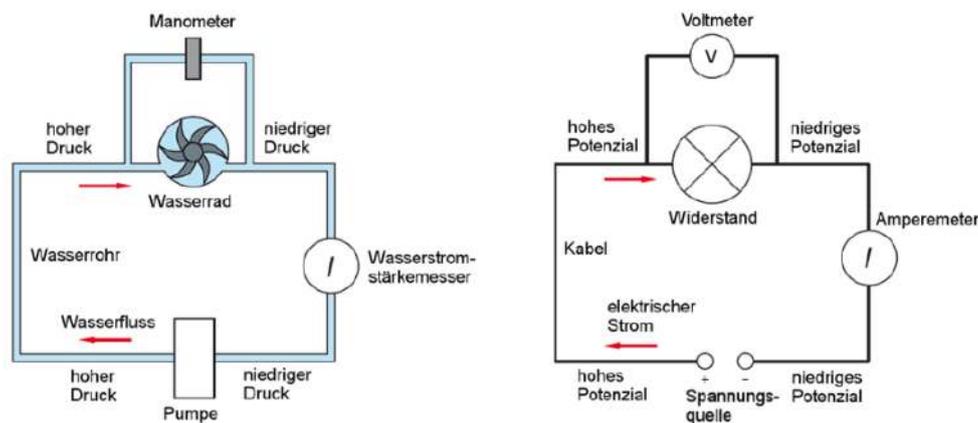


Abbildung 27: Vergleich eines ebenen geschlossenen Wasserkreislaufs mit einem elektrischen Stromkreis. Quelle: Burde und Wilhelm (2018, S. 8)

In dieser Darstellung besteht der Wasserkreislauf aus geschlossenen Rohren mit durchgängig gleichem Querschnitt. Das gesamte Rohrsystem liegt in einer horizontalen Ebene. Die Wasserpumpe erzeugt einen konstanten Druckunterschied, welcher der anliegenden elektrischen Spannung in einem elektrischen Stromkreis entspricht. Der Wasserdruck selbst entspricht dabei dem elektrischen Potenzial. Gleich wie beim offenen Wasserkreislauf entspricht auch hier die Wasserstromstärke oder Durchflussgeschwindigkeit der elektrischen Stromstärke. Die Turbine entspricht dem elektrischen Widerstand als Bauteil eines elektrischen Stromkreises. Die Turbine verbraucht in diesem Sinne also kein Wasser, wie auch ein elektrischer Widerstand keinen Strom verbraucht.

Obwohl es viele offensichtlich formale Analogien zwischen dem geschlossenen ebenen Wasserkreislauf und dem elektrischen Stromkreis gibt, lassen sich dennoch mehrere Kritikpunkte in Bezug auf dieses Analogiemodell formulieren. Einerseits sind SchülerInnen zwar mit Wasser(-flüssen) in ihrem Alltag gut ver-

traut, jedoch nur in den allerseltensten Fällen auch mit Druck- und Fließgeschwindigkeitsverhältnissen in geschlossenen Wasserrohren. Dies kann sogar dazu führen, dass die Analyse von geschlossenen ebenen Wasserkreisläufen dieselbe Schülervorstellungen fördern wie bei elektrischen Stromkreisen (Burde & Wilhelm, 2016). Außerdem besitzen SchülerInnen der Sekundarstufe I in der Regel kein derart ausgeprägtes Systemdenken, sodass oft Schwierigkeiten bei der Erfassung der Verhältnisse innerhalb des Wasserstromkreises auftreten. Außerdem kann bei einem ausgeprägten Verständnis dieser Verhältnisse im Wasserstromkreis nicht automatisch davon ausgegangen werden, dass dieses Verständnis auf elektrische Stromkreise übertragen wird (Tenney & Gentner, 1985).

Insgesamt stellt sich in Bezug auf den ebenen, geschlossenen Wasserkreislauf die Frage, ob es aus lernökonomischer Sicht Sinn ergibt, einen erheblichen Zeitaufwand in die Auseinandersetzung mit dem Ausgangsbereich zu investieren, um Verständnis im Zielbereich zu entwickeln. Kircher stellte in diesem Zusammenhang bereits 1984 zur Diskussion, ob sich nicht das Lernen über Wasserstromkreise schwieriger gestaltet als das Lernen von elektrischen Stromkreisen selbst und damit kontraproduktiv wäre.

5.4.5 Rucksackmodell

Ein weiteres Analogiemodell, welches laut Literatur (Burde & Wilhelm, 2017) im Elektrizitätslehreunterricht der Primarstufe aber auch Sekundarstufe I anzutreffen ist, baut auf der Vorstellung auf, dass einzelne Ladungsträger oder Elektronen gewisse Energiepakete von der Spannungsquelle zu einem Elektrogerät transportieren. Wie Ladungsträger, Energiepakete und Spannungsquelle dabei aussehen, ist wiederum unterschiedlich umgesetzt. In manchen Fällen sind die Ladungsträger im Analogiemodell als Bienen, in anderen als Männchen dargestellt. Die Energiepakete können dabei Pollen, Rucksäcke oder Hüte sein (Wilhelm, 2015). Die Bienen oder Männchen laufen schließlich auf einer gegebenen Strecke im Kreis, wobei sie von der Spannungsquelle (im Ausgangsbereich als Blume, Elektrizitätsquelle, etc. ausgeführt) ein gewisses Energiepaket ΔE erhalten, welches sie schließlich bei einem Elektrogerät (Bienenstock, Lämpchen, ...) abgeben. In Abbildung 28 ist ein derartiges Analogiemodell mit Männchen und Rucksäcken dargestellt.

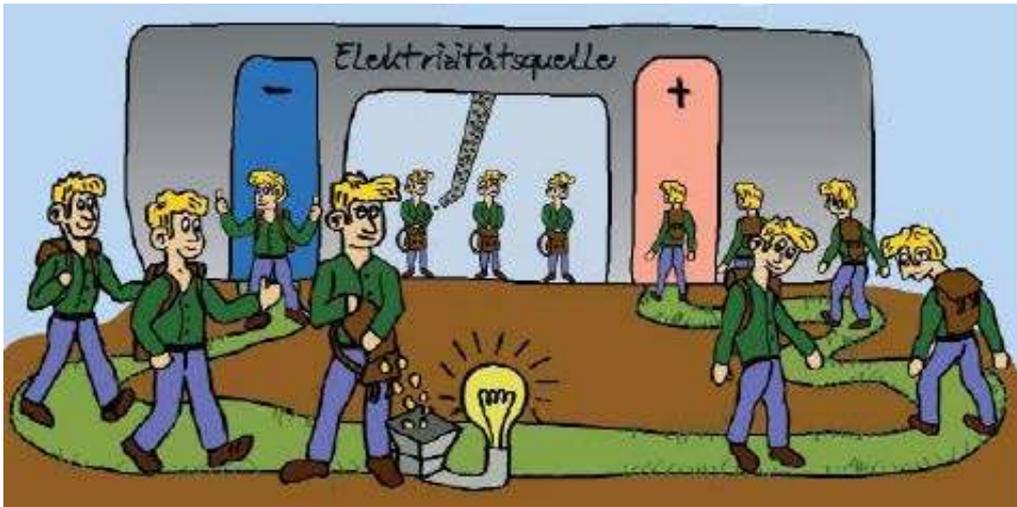


Abbildung 28: Rucksackmodell des einfachen elektrischen Stromkreises. Quelle: Wilhelm (2018a, S. 96)

Der elektrischen Spannung entspricht in diesem Analogiemodell ein Energiepaket, welches ein Ladungsträger mit sich trägt, also $U = \frac{\Delta E}{Q}$. Der elektrischen Stromstärke entspricht die Anzahl der Männchen/Bienen, die an einer bestimmten Stelle in einem bestimmten Zeitintervall vorbeilaufen.

Positiv hervorzuheben ist, dass anhand dieses Analogiemodells eindeutig zwischen den Konzepten der elektrischen Stromstärke und der elektrischen Spannung unterschieden wird (Burde, 2018). Dennoch lassen sich auch für dieses Analogiemodell einige Grenzen und Kritikpunkte formulieren – sowohl aus fachlicher als auch aus fachdidaktischer Perspektive.

Wilhelm (2018a) greift mehrere Problemfelder in Bezug auf das Rucksackmodell auf. Das erste ist ein „Ausbreitungsproblem“: Anhand dieses Analogiemodells müsste es relativ lange dauern, bis das erste Männchen, welches ein Energiepaket erhält, tatsächlich beim Lämpchen ankommt. Im elektrischen Stromkreis bewegt sich das Signal jedoch mit Lichtgeschwindigkeit.

Zudem ist das Modell keinesfalls anschlussfähig für die Thematisierung von Wechselstrom. Laut Wilhelm (2018a) ist es also bestenfalls für Gleichstromkreise mit unveränderbarer Spannung geeignet, wobei der Ein- und Ausschaltvorgang dabei ausgeblendet werden müssen.

Ein weiteres Problem ist ein „Energietransportproblem“ (Wilhelm, 2018a): Laut Analogiemodell dürfte die Energie, ähnlich wie bei dem Fahrradkettenmodell,

nur auf der Zuleitung zum Elektrogerät übertragen werden. Für einen elektrischen Stromkreis gibt es jedoch keinen energetischen Unterschied zwischen den beiden Leitern, die von der Spannungsquelle zum Elektrogerät führen.

Das dritte und wohl schwerwiegendste Problem dieses Analogiemodells ist, dass bekannte Schülervorstellungen unterstützt werden können (Wilhelm, 2018a). Vor allem sequenzielles Denken, also das Betrachten von „vor“ oder „nach“ einem Widerstand, kann mit diesem Analogiemodell gefördert werden. Insbesondere wenn eine Serienschaltung mehrerer Widerstände betrachtet wird, kann dies zu Schwierigkeiten führen. Die „Männchen“ müssten dementsprechend bei jedem Widerstand bereits vorab wissen, welcher Teil des Energiepaketes an den jeweiligen Widerständen abgegeben werden muss. Zusätzlich kann auch lokales Denken gefördert werden, da SchülerInnen dazu verleitet werden können, einzelne Punkte des Stromkreises anstelle des gesamten Systems zu betrachten. Ebenso kann auch die Verbrauchsvorstellung gefördert werden, da die Energiepakete der „Männchen“ abgegeben werden. Daher liegt nach dem Elektrogerät ein anderer Zustand vor als vor diesem, der Strom (bzw. die Energie) wurde verbraucht.

Insgesamt ist also fraglich, ob durch die Verwendung dieses Analogiemodells eine ausreichende Differenzierung des Spannungs- und Energiebegriffs gelingt (Wilhelm, 2018a).

5.4.6 Wärmeleitungsmodell

Das Wärmeleitungsmodell, eine Analogie zwischen der Wärmeleitung in Feststoffen und einem elektrischen Stromkreis, wird in der Literatur (z. B. Burde & Wilhelm, 2017) selten als Analogiemodell für einfache Stromkreise erwähnt. In diese Dissertation hat es dennoch Eingang gefunden, weil es von Lehrkräften des EPo-EKo Samples (siehe Kapitel 8.2.3) verwendet wurde.

Innerhalb dieser Analogie wird das elektrische Potenzial als Ursache einer Elektronenströmung mit dem Temperaturunterschied als Ursache einer Wärmeströmung gleichgesetzt. Die elektrische Stromstärke entspricht dabei dem Wärmestrom $\phi = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$, der elektrische Widerstand dem thermischen Widerstand R_{th} .

Obwohl sich zwischen diesem Modell und elektrischen Stromkreisen einige Analogien ziehen lassen, ist auch hier fraglich, inwiefern SchülerInnen mit dem Ausgangsbereich – also Wärmeleitungsvorgängen in Feststoffen – vertraut sind. Zwar machen SchülerInnen in ihrem Alltag häufig Erfahrungen mit thermischer Energieübertragung (zum Beispiel bei Kochtöpfen), zu den Mechanismen dieser Energieübertragung sind jedoch aus der Literatur diverse Schülervorstellungen (Duit, 1986; Paik, Cho & Go, 2007; Pathare & Pradhan, 2010; Wiesner & Stengl, 1984) bekannt, die gegen eine Verwendung dieses Analogiemodells sprechen.

5.4.7 Frankfurter Elektronengasmodell

Das letzte Analogiemodell, welches in dieser Dissertationsarbeit thematisiert wird, ist das von Burde (2018) weiterentwickelte Elektronengasmodell. Vorarbeiten dazu entstanden im Zuge des CASTLE-Curriculums in den USA (Steinberg & Wainwright, 1993).

Die Grundidee dieses Analogiemodells beruht auf einem Vergleich zwischen dem elektrischen Potenzial und einem herrschenden Luftdruck. Die elektrische Spannung wird dementsprechend mit einem Luftdruckunterschied identifiziert. So wie ein Luftdruckunterschied zum Beispiel zwischen dem Luftdruck in einer Luftmatratze und dem Normaldruck der Umgebungsluft zu einer Luftströmung führt, führt ein Unterschied im elektrischen Druck zu einer Elektronenströmung. Bedingt durch die Coulomb-Abstoßung der Elektronen kommt es zu diesem elektrischen Druck, der von der Elektronendichte abhängt (Burde & Wilhelm, 2015b).

Eine Spannungsquelle, wie zum Beispiel eine Batterie, sorgt dabei für einen ständig herrschenden und konstant bleibenden elektrischen Druckunterschied zwischen den beiden Polen der Spannungsquelle. Der elektrische Druck wird schließlich in elektrischen Schaltplänen anhand einer Punkte- oder Farbkodierung dargestellt, wie in Abbildung 29 gezeigt.

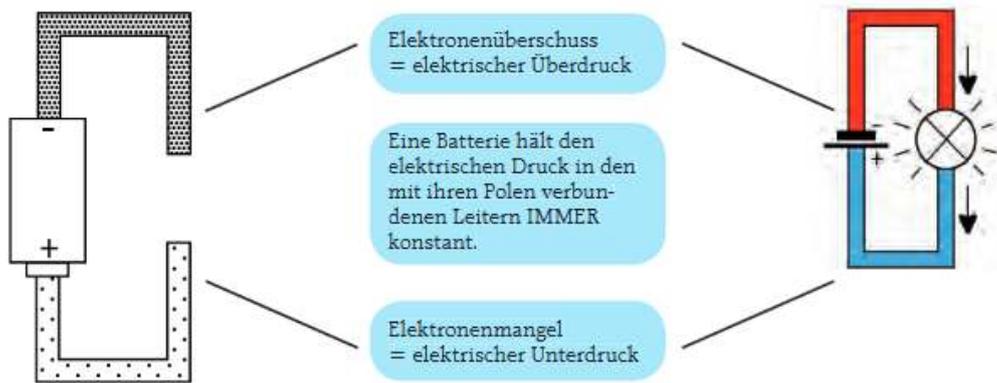


Abbildung 29: Farbdarstellung (rechts) sowie Punktedichtedarstellung (links) des elektrischen Drucks. Quelle: Burde und Wilhelm (2015b, S. 29)

Während die Punktedichtedarstellung eine direktere Visualisierung des elektrischen Drucks darstellt, hat sich in Teaching Experiments (Komorek & Duit, 2004) vor allem hinsichtlich einer Praxistauglichkeit die Farbdarstellung als bessere Variante herausgestellt (Burde & Wilhelm, 2015a). Neben einer einfacheren Umsetzung im Unterricht durch Verwendung von Farbstiften griffen SchülerInnen auch häufiger auf die Farbdarstellung als auf andere dargebotene Darstellungen zurück, um Aufgaben zu lösen. Als Farbschema wurde dabei die Farbe Rot für Bereiche hohen elektrischen Drucks gewählt, während Blau für Bereiche niedrigen elektrischen Drucks verwendet wurde. Diese Farbkodierung soll an der intuitiven Verknüpfung von Rot mit hoch und Blau mit niedrig, wie SchülerInnen es auch von der Temperatur oder Wetterkarten kennen, anschließen. Gleichzeitig stellt dies aber auch ein gewisses Problem dar, denn üblicherweise werden negative Pole in der Elektrizitätslehre blau kodiert, während positive rot kodiert werden. Daher stellt sich die Frage, ob es sich aus lernökonomischen Gründen lohnt, diesen Bruch mit der Darstellungskonvention einzugehen.

Während Parallelschaltungen anhand des Frankfurter Elektronengasmodells leicht zu erklären und zu veranschaulichen sind, müssen Reihen- oder Serienschaltungen anhand dieses Analogiemodells mithilfe von sogenannten *Übergangszuständen* erklärt werden. Werden zum Beispiel die Spannungsverhältnisse in einer Serienschaltung von zwei Glühlampen analysiert, so werden diese schrittweise anhand von *Übergangszuständen* analysiert, wie in Abbildung 30 dargestellt und in Burde (2018) näher erklärt.

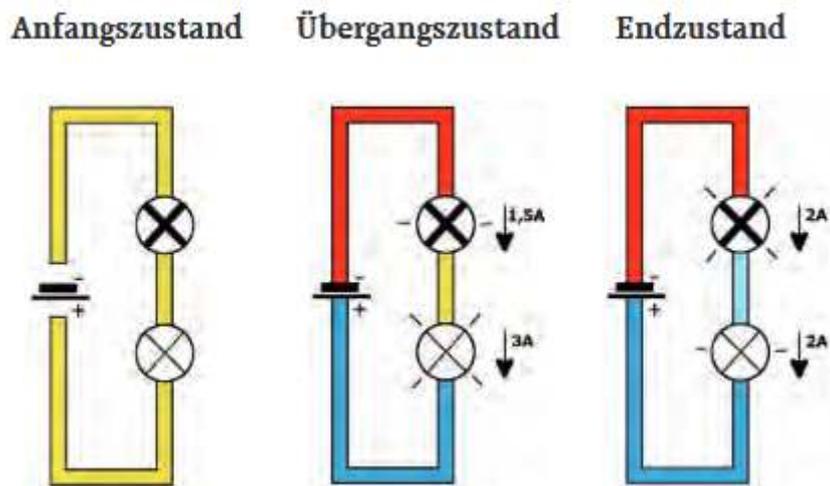


Abbildung 30: Schrittweise Analyse der Spannungs- und Stromstärkenverhältnisse in einer Reihenschaltung von zwei Glühlämpchen anhand von Übergangszuständen. Quelle: Burde & Wilhelm (2015b, S. 32)

Anhand von Lehrkräfterückmeldungen in der Studie von Burde (2018) zeigte sich, dass die Betrachtung von *Übergangszuständen* und die Druckverteilung bei Reihenschaltungen sich für manche SchülerInnen als schwer verständlich herausstellten.

6 Forschungsansatz der empirischen Studie

Dieses Kapitel widmet sich der theoretischen Verortung dieses Dissertationsprojekts sowie der Ableitung der Forschungsfragen aus dem aktuellen Diskurs. Dies geschieht in Abgleich mit den in den Kapiteln eins bis fünf dargestellten Voraussetzungen. In Kapitel 6.1 wird das Gesamtprojekt EPo-EKo (Haagen-Schützenhöfer et al., 2019) vorgestellt, in das dieses Dissertationsprojekt einzuordnen ist. Kapitel 6.2 widmet sich der konkreten theoretischen Verortung der Untersuchung, in Kapitel 6.3 werden die daraus resultierenden Forschungsfragen dargestellt.

6.1 EPo-EKo als Rahmenprojekt dieser Dissertation

Die Elektrizitätslehre, insbesondere die schulischen Bestrebungen, dass SchülerInnen ein eigenständiges Konzept der elektrischen Spannung entwickeln, stellt eine der größten Herausforderungen des Physikunterrichts der Sekundarstufe I dar. Trotz staatlicher Lenkung und intensivster Bemühungen der Lehrkräfte gelingt es vielen Lernenden nicht, ein anschlussfähiges, qualitatives Verständnis elektrischer Stromkreise zu erlangen (z. B. Burde, 2018; McDermott & Shaffer, 1992; Rhöneck, 1986; Shipstone et al., 1988; Urban-Woldron & Hopf, 2012; Wilhelm & Hopf, 2018). So zeigen viele Schülerinnen auch nach dem Elektrizitätslehreunterricht noch diverse Schülervorstellungen rund um einfache elektrische Stromkreise (Schecker et al., 2018; Wilhelm et al., 2015).

Unter anderem aus diesem Grund besteht nach wie vor der Bedarf an einem Unterrichtskonzept, anhand dessen Lernende ein vom Stromstärkekonzept entkoppeltes, angemessenes Spannungskonzept entwickeln können, um damit ein adäquates qualitatives Verständnis einfacher Stromkreise zu erlangen. Dies ist letztendlich der Ausgangspunkt für das Projekt „Elektrizitätslehre mit Potenzial und Kontexten EPo-EKo“ (Haagen-Schützenhöfer et al., 2019), im Zuge dessen die in dieser Dissertation beschriebene Studie durchgeführt wurde. Das übergeordnete Ziel dieses Design-Based-Research-Projekts (Reinmann, 2005; The Design-Based Research Collective, 2003) besteht darin, zu einem besseren qualitativen Verständnis der Lernenden im Rahmen des Elektrizitätslehreunterrichts in der Sekundarstufe I in Deutschland und Österreich beizutragen. Andererseits sollen auch Einflüsse einer Kontextorientierung des Elektrizitätslehreunterrichts auf –

im Speziellen affektive – Schülermerkmale, untersucht werden. Insgesamt resultieren diese Überlegungen in einer Studie, die sich in drei Phasen sowie zwei Untersuchungsstränge gliedern lässt, wie in Abbildung 31 dargestellt ist.

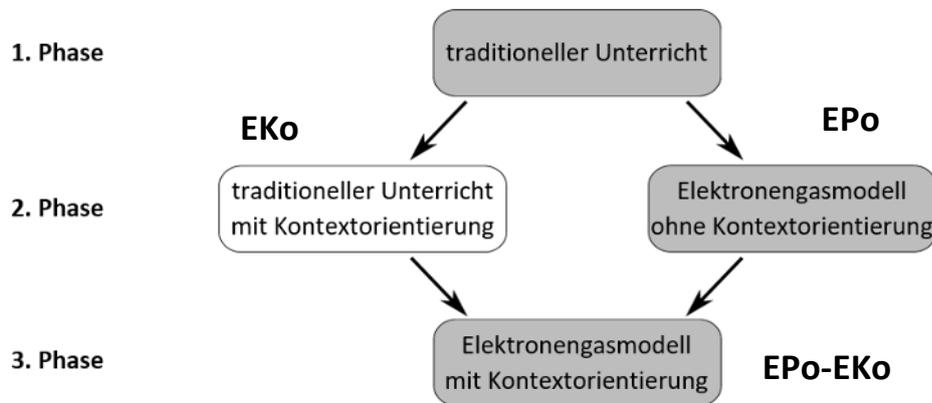


Abbildung 31: Übersicht über die beiden Untersuchungsstränge sowie drei Phasen des Projekts EPo-EKo. Die grau hinterlegten Felder markieren den aktuellen Untersuchungsstrang.

Das Unterrichtskonzept EPo stellt eine Weiterentwicklung des Frankfurter Unterrichtskonzepts auf Basis des Elektronengasmodells (Burde, 2018) dar, welches in Kapitel 5.3.5 näher vorgestellt ist.

Aus der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung ist hinlänglich bekannt, dass eine Orientierung des Unterrichts an interessanten Kontexten das Interesse von SchülerInnen steigern kann (z. B. Lubben, Bennett, Hogarth & Robinson, 2005). Als erster Schritt für die Entwicklung des Unterrichtskonzepts EKo wurden daher einerseits interessante Kontexte in Bezug auf die Elektrizitätslehre identifiziert (Dopatka et al., 2019) und andererseits in Form einer Aufgabensammlung pilotiert (Dopatka, Spatz, Burde, Wilhelm, Ivanjek et al., 2020). Eine bis dato unge löste Fragestellung ist jedoch, inwiefern kontextorientierter Unterricht auch zu einem verbesserten Verständnis auf inhaltlicher Ebene führen kann (Taasobshirazi & Carr, 2008). Im Zuge der Evaluierung des Konzepts EKo soll ein Beitrag zur Beantwortung dieser Frage geleistet werden, indem der Einfluss einer Kontextorientierung auf die Entwicklung des konzeptionellen Verständnisses und des Interesses der SchülerInnen an Physik untersucht wird.

Das finale Unterrichtskonzept EPo-EKo stellt schließlich eine Synthese der beiden oben erwähnten Unterrichtskonzepte EPo und EKo dar. Ein deklariertes Ziel des Projekts EPo-EKo ist demnach die Entwicklung und empirische Evaluation eines kontextorientierten Unterrichtskonzepts auf Basis des überarbeiteten

Frankfurter Unterrichtskonzepts mit dem Ziel einer fachlichen Lernwirksamkeit bei gleichzeitiger Förderung des Interesses der SchülerInnen.

Die Lernerfolge des Unterrichts der unterschiedlichen im Projekt entwickelten Unterrichtskonzeptionsvarianten als unterschiedliche Treatmentgruppen werden schließlich mit jenen des traditionellen Unterrichts als Kontrollgruppe verglichen. Traditioneller Unterricht ist ein Terminus, der meist als Kollektivum für die unterschiedlichen Interventionen zu sehen ist, die Lehrkräfte typischerweise in ihrem Unterrichtsalltag umsetzen. Im Zuge von Kontroll-Treatmentgruppen Untersuchungen resultiert die Pauschalisierung als „typischer“ oder „gängiger“ Unterricht teilweise in der impliziten Annahme, dass alle Lehrkräfte mit ihrem Unterricht ähnliche Ziele bzw. letztendlich auch Interventionen verfolgen und umsetzen. Grundsätzlich ist allerdings davon auszugehen, dass Unterricht zu einem bestimmten physikalischen Thema in authentischen Unterrichtssettings einer Varianz unterliegt.

Es ist notwendig, sich erst einmal explizit mit traditionellem Unterricht auseinanderzusetzen. Einerseits um einen differenzierten Blick auf die Ergebnisse von Interventionsstudien wie zum Beispiel EPo-EKo zu erhalten, andererseits aber auch um ein tieferes Verständnis für mögliche Akzeptanzhürden auf Seite von Lehrkräften bei der Implementierung fachdidaktischer Innovation, im konkreten Fall EPo und EPo-EKo, zu ermöglichen.

Ein Ziel dieser Studie ist daher zu untersuchen, ob der traditionelle Anfangsunterricht zur Elektrizitätslehre an den am Projekt EPo-EKo teilnehmenden Schulen einer gewissen Systematik unterliegt, bzw. herauszufinden, welche sachstrukturellen Elemente den Unterricht, wie er von den teilnehmenden Lehrkräften durchgeführt wird, beschreiben.

Den zweiten Teil dieser Studie stellt die Analyse des (über die Unterrichtsqualität medierten) Zusammenhangs von ausgewählten Lehrkräftemerkmalen mit dem Lernerfolg der SchülerInnen dar. Außerdem wird untersucht, welche Zusammenhänge diese Merkmale mit der Entwicklung des Fachinteresses und physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht aufweisen.

6.2 Theoretische Verortung der Dissertation

Als theoretisches Rahmenmodell für die Verortung der einzelnen in dieser Studie untersuchten Teilaspekte dient das in Kapitel 2.2.1 vorgestellte Model of Teacher Professional Knowledge and Skill (TPK&S) (Gess-Newsome, 2015) – im Folgenden auch als Consensus-Model bezeichnet. Die Stärken dieses Modells liegen vor allem darin, unterschiedlichste Einflussfaktoren – sowohl auf Lernenden als auch auf Lehrkräfteseite – auf Schülerleistungen zu verorten und miteinander in Beziehung zu setzen. Das Modell ist in Abbildung 32 noch einmal dargestellt.

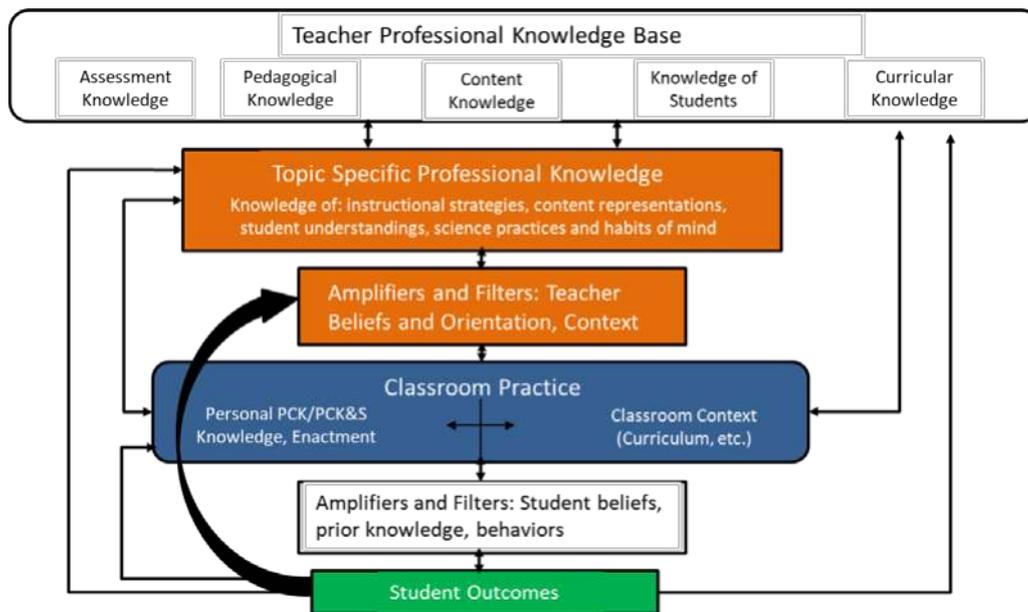


Abbildung 32: Model of Teacher Professional Knowledge and Skill. In dieser Dissertation werden Zusammenhänge zwischen Lehrkräfteressourcen (im Modell in Orange eingefärbt) und Wirkungen auf Schülerebene (in Grün eingefärbt) untersucht. Elemente der Sachstruktur als Aspekte der Classroom Practice der Lehrkräfte (in Blau eingefärbt) werden explorativ untersucht. Quelle: Gess-Newsome (2015, S. 31)

Die Fragestellungen dieser Dissertation (siehe Kapitel 6.3) werden anhand des Consensus-Modells empirisch untersucht: Auf Ebene der Classroom Practice werden Elemente der Sachstruktur (thematisierte Inhalte und eingesetzte Analogiemodelle) des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts der Lehrkräfte explorativ untersucht. Auf Ebene der Lehrkräfte Merkmale werden im Rahmen dieser Studie zwei unterschiedliche Aspekte näher beleuchtet. Einerseits soll der (indirekte) Zusammenhang des Topic Specific Professional Knowledge (TSPK) der Lehrkräfte mit ausgewählten Schülervariablen untersucht werden. Andererseits soll auch der Zusammenhang von im Modell als amplifiers and filters bezeichneten

Merkmale mit Schülermerkmalen betrachtet werden. Dies erklärt sich unter anderem dadurch, dass der Einfluss derartiger Lehrkräftemerkmale in bisherigen Studien noch zu wenig berücksichtigt wurde (Keller et al., 2017).

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen ist anzumerken, dass für die Zusammenhangsanalyse der Lehrkräftevariablen mit Schülermerkmalen keine Elemente der Classroom Practice berücksichtigt wurden. Dies begründet sich im explorativen Charakter der Untersuchung der thematisierten Inhalte und eingesetzten Analogiemodelle der Lehrkräfte, aber auch darin, dass eine Videographie von Unterrichtsstunden im Rahmen des Gesamtprojekts rechtlich nicht möglich war. Anhand des in Kapitel 2 dargestellten Modells der schulischen Wirkkette (Terhart, 2012) werden dementsprechend Zusammenhänge zwischen Lehrkräfteresourcen und Schülerwirkungen untersucht. Dies geschieht in der Annahme, dass die erhobenen Lehrkräftemerkmale das unterrichtliche Handeln dieser Lehrkräfte und somit die Unterrichtsqualität beeinflussen, welche wiederum zu den gewünschten Schülerwirkungen beiträgt (siehe Abbildung 33).

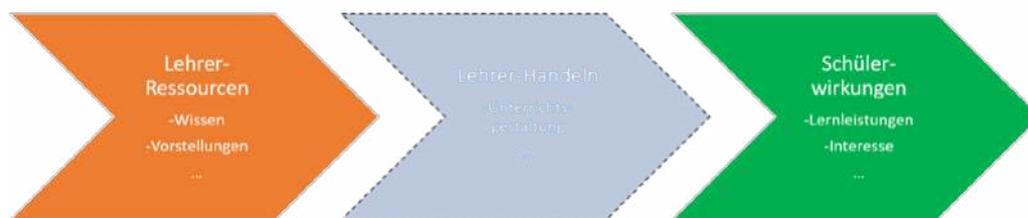


Abbildung 33: Das orange und grüne Feld stellen die untersuchten Zusammenhänge anhand der Wirkkette schulischer Bildung (Terhart, 2012) dar. Die Färbung der einzelnen Teile entspricht der Färbung in Abbildung 32. Quelle: Terhart (2012)

Das TSPK der Lehrkräfte wird in der vorliegenden Arbeit basierend auf den drei Aspekten, welche laut Gess-Newsome (2015) TSPK charakterisieren, konzeptualisiert und untersucht. Diese drei Aspekte sind, wie in Kapitel 2.2.1 genauer beschrieben:

1. TSPK ist, wie die Bezeichnung bereits suggeriert, themenspezifisch. Unter themenspezifisch wird im Zuge dieser Dissertation das Thema „Anfangs-Elektrizitätslehre“ aufgefasst, so wie es in Bayern, Hessen und Österreich im Lehrplan verankert ist. Diese Themenspezifität bezieht sich also nicht nur auf ein inhaltliches Thema – die Elektrizitätslehre – sondern auch auf eine bestimmte Zielgruppe – die Sekundarstufe I.

2. TSPK enthält Wissen darüber, wie fachliche Inhalte für Lernprozesse strukturiert, dargestellt, erklärt und vernetzt werden.
3. TSPK wird als kanonisches Wissen aufgefasst. Es ist Professionswissen, welches durch eine allgemeingültige Auffassung der Community beschrieben wird und durch Best-Practice-Beispiele und Forschungsergebnisse gebildet wird. Daher sollte die Vermittlung von TSPK auch Inhalt von Lehramtsausbildungen sein.

Ein Testinstrument, welches ein derartig operationalisiertes TSPK erheben soll, soll demnach Items enthalten, die sich auf fachlich-inhaltlicher Ebene auf den Inhaltsbereich der Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe I beziehen. Im Zuge dieser Studie wird das TSPK der Lehrkräfte zur Anfangs-Elektrizitätslehre schließlich über die als zentral zu sehenden Facetten *Wissen über Schülervorstellungen* sowie *Wissen über Instruktionsstrategien* (Großschedl et al., 2015; Lee & Luft, 2008; Park & Oliver, 2008; Riese, Gramzow & Reinhold, 2017; Schmelzing et al., 2013; Tepner, Borowski, Dollny et al., 2012; van Driel et al., 1998) auf Basis bereits bestehender Testinstrumente (Ergönenc, 2010; Gramzow, 2015; Joswig & Riese, 2018) modelliert. Für eine detaillierte Beschreibung des Testinstruments siehe Kapitel 7.4.1 .

Als *amplifiers* und *filters* auf Lehrkräfte-Ebene sind im Zuge dieser Studie Aspekte zu verstehen, welche Lehrkräfte laut dem Consensus-Model in der Art und Weise, wie sie auf ihr Professionswissen zurückgreifen, beeinflussen. Darunter sind in jedem Fall Vorstellungen über das Lernen und Lehren von Physik zu verstehen, wie zum Beispiel epistemologische Vorstellungen, aber auch spezifische Selbstwirksamkeitserwartungen. Eine Übersicht über die erhobenen Vorstellungen und Einstellungen der Lehrkräfte im Rahmen dieser Studie ist in Kapitel 7.4.3 zu finden. Dort sind auch detailliertere Beschreibungen der eingesetzten Skalen angeführt.

Schließlich werden im Rahmen dieser Dissertation Elemente der Sachstruktur des Physikunterrichts nach Reinhold (2010) untersucht und näher beleuchtet. Zu diesen zählen einerseits die von den teilnehmenden Lehrkräften thematisierten fachlichen Inhalte, deren Relation zueinander sowie deren zeitliche Reihenfolge im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht der Lehrkräfte. Außerdem wird untersucht, welche Analogiemodelle Lehrkräfte in ihrem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht einsetzen.

Basierend auf dieser theoretischen Verortung auf einer globalen Ebene werden im nächsten Kapitel das konkrete Untersuchungsdesign sowie die untersuchten Forschungsfragen dargestellt.

6.3 Forschungsfragen

Die erste Forschungsfrage, welche im Zuge dieser Studie beantwortet werden soll, bezieht sich auf die weitere Klärung (siehe Kapitel 3) des (indirekten) Zusammenhangs zwischen Lehrkräftemerkmalen und dem fachlichen Lernerfolg von SchülerInnen. Der Fokus wird dabei auf Facetten des Topic Specific Professional Knowledge – im konkreten Fall jenes zum Inhaltsbereich „Anfangs-Elekttrizitätslehre“ – der Lehrkräfte gelegt. Dies geschieht vor dem Hintergrund der nach wie vor unzureichenden Evidenzlage bezüglich des Zusammenhangs des Professionswissens von Lehrkräften mit unterrichtlicher Qualität und damit indirekt dem fachlichen Lernerfolg von SchülerInnen (siehe Kapitel 3).

Einen weiteren Fokus stellt die Untersuchung des Zusammenhangs der epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte zum Lernen und Lehren von Physik sowie der Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen mit der Entwicklung des Fachwissens der SchülerInnen aufgrund der in Kapitel beschriebenen Gründe dar.

Auf Basis der Annahme, dass eine eher konstruktivistische Vorstellung vom Lernen und Lehren zu einem adaptiveren Unterricht der Lehrkräfte führt, wird angenommen, dass eine solche Vorstellung der Lehrkräfte einen positiven Zusammenhang mit dem fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen aufweist.

Unter der Annahme, dass eine höhere Selbstwirksamkeit der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen zu einer höheren Unterrichtsqualität führt, indem die Lehrkräfte ihren Unterricht eher an die Lernausgangslage anpassen, wird ein positiver Zusammenhang zwischen der Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte und fachlichem Lernerfolg der SchülerInnen angenommen.

Neben dem fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen werden auch Einflussfaktoren auf die Entwicklung affektiver Merkmale im Zuge des Anfangs-Elekttrizitätslehreunterrichts untersucht. Diese affektiven Merkmale sind das Interesse am Fach Physik einerseits sowie das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen (siehe Kapitel 7.5.2) andererseits.

Aufgrund der gewählten Operationalisierung des TSPK (*Wissen über Schülervorstellungen* und *Wissen über Instrukionsstrategien*) und auf Basis von Ergebnissen bisheriger Studien (z. B. Cauet, 2016; Keller et al., 2017) wird kein Zusammenhang zwischen dem derart operationalisierten TSPK der Lehrkräfte und der Interessens- sowie Selbstkonzeptentwicklung der SchülerInnen erwartet. Es wird jedoch auf Basis der Literatur erwartet, dass die Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen (vgl. Woolfolk Hoy & Davis, 2006; Woolfolk Hoy, Hoy & Davis, 2009) und eine eher konstruktivistische Vorstellung vom Lernen und Lehren von Physik (vgl. Hartinger et al., 2006) der Lehrkräfte einen positiven Einfluss auf die Entwicklung affektiver Merkmale darstellen. Die Evidenzlage in Bezug auf den Zusammenhang der Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte mit der Entwicklung affektiver Schülermerkmale ist vergleichsweise gering, weshalb die Hypothese als vorsichtig formuliert zu sehen ist. Es wird jedoch angenommen, dass eine höhere Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen zu einem eher schülerorientierten Unterricht führt, welcher die positive Entwicklung des Fachinteresses und physikbezogenen Selbstkonzepts fördert.

Für die Analyse der Zusammenhänge dieser dargestellten Merkmale werden anhand eines Step-Up-Verfahrens mittels Mehrebenenanalyse die relevanten Kontrollvariablen identifiziert und in der Analyse berücksichtigt.

Als Kontrollvariablen werden das Vorwissen im Bereich der Anfangs-Elektrizitätslehre, das verbale und figurale Denkvermögen der SchülerInnen, ihr Interesse am Fach Physik sowie das physikbezogene Selbstkonzept vor dem Unterricht sowie der Unterrichtszeit – falls relevant – betrachtet. Auf Klassenebene wird zudem für die Anzahl der Dienstjahre der Lehrkräfte und das Land, in dem unterrichtet wurde, kontrolliert. In Abbildung 34 ist eine Übersicht der Variablen auf Lehrkräfteebene (in Orange), erhobene Merkmale auf Klassenebene (in Grau), Variablen auf Schülerebene (in Blau) und der Kriterien unterrichtlichen Erfolges innerhalb dieser Dissertation (in Grün) ersichtlich. Daraus resultieren drei Forschungsfragen, die in den folgenden Kapiteln 6.3.1 bis 6.3.3 beschrieben werden.

Die vierte Forschungsfrage, die im Zuge dieser Studie beantwortet werden soll, bezieht sich auf Elemente des sachstrukturellen Angebots des Anfangs-Elektri-

zitätslehreunterrichts der Lehrkräfte. Dabei soll beantwortet werden, welche Inhalte die teilnehmenden Lehrkräfte in ihrem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht thematisieren, aber auch in welcher Relation zueinander sowie in welcher zeitlichen Reihenfolge diese behandelt werden. Außerdem wird untersucht, welche Analogiemodelle die Lehrkräfte einsetzen.

Aufgrund bisher ausstehender Untersuchungsergebnisse dazu, wie Lehrkräfte im deutschsprachigen Raum den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht gestalten, sind die formulierten Forschungsfragen in Kapitel 6.3.4 als explorativ zu sehen.



Abbildung 34: Übersicht über das Studiendesign zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Lehrkräftemerkmalen und dem fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen. Orange eingefärbte Blöcke stellen unabhängige Variablen auf Lehrkräfteebene dar, grün eingefärbte Blöcke abhängige Variablen auf Individualebene der SchülerInnen, grau eingefärbte Blöcke stellen kontrollierte Variablen auf Individual- und blau eingefärbte Blöcke auf Klassenebene dar.

6.3.1 Forschungsfrage 1: Lehrkräftemerkmale und fachlicher Lernerfolg von SchülerInnen

F1: Welche (korrelativen) Zusammenhänge bestehen zwischen dem erhobenen TSPK (*Wissen über Schülervorstellungen und Instruktionsstrategien*), den erhobenen epistemologischen Vorstellungen von Physiklehrkräften sowie der Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen und dem fachlichen Lernerfolg von SchülerInnen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht?

Mit Forschungsfrage 1 korrespondieren folgende Hypothesen:

H1.1: Unterschiede im fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht werden (nach Kontrolle der angeführten Variablen) signifikant durch Unterschiede im TSPK zur Anfangs-Elektrizitätslehre der Lehrkräfte erklärt.

H1.2: Unterschiede im fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht werden (nach Kontrolle der angeführten Variablen) signifikant durch Unterschiede in den epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte erklärt.

H1.3: Unterschiede im fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht werden (nach Kontrolle der angeführten Variablen) signifikant durch Unterschiede in der Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen erklärt.

6.3.2 Forschungsfrage 2: Lehrkräftemerkmale und Entwicklung des Fachinteresses von SchülerInnen

F2: Welche (korrelativen) Zusammenhänge bestehen zwischen den erhobenen epistemologischen Vorstellungen, dem TSPK der Lehrkräfte (*Wissen über Schülervorstellungen und Instruktionsstrategien*) sowie der Selbstwirksamkeit im Handlungsfeld Schülervorstellungen der Lehrkräfte und der Entwicklung des Fachinteresses von SchülerInnen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht?

Mit Forschungsfrage 2 korrespondieren folgende Hypothesen:

H2.1: Unterschiede im Fachinteresse der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht werden (nach Kontrolle der angeführten Variablen) nicht durch Unterschiede im TSPK der Lehrkräfte erklärt.

H2.2: Unterschiede im Fachinteresse der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht werden (nach Kontrolle der angeführten Variablen) signifikant durch Unterschiede in den epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte erklärt.

H2.3: Unterschiede im Fachinteresse der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht werden (nach Kontrolle der angeführten Variablen) signifikant durch Unterschiede in der Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen erklärt.

6.3.3 Forschungsfrage 3: Lehrkräftemerkmale und Entwicklung des physikbezogenen Selbstkonzepts von SchülerInnen

F3: Welche (korrelativen) Zusammenhänge bestehen zwischen den erhobenen epistemologischen Vorstellungen, dem TSPK der Lehrkräfte (*Wissen über Schülervorstellungen und Instruktionsstrategien*) sowie der Selbstwirksamkeit im Handlungsfeld Schülervorstellungen der Lehrkräfte und der Entwicklung des physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht?

Mit Forschungsfrage 3 korrespondieren folgende Hypothesen:

H3.1: Unterschiede im physikbezogenen Selbstkonzept der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht werden (nach Kontrolle der angeführten Variablen) nicht durch Unterschiede im TSPK der Lehrkräfte erklärt.

H3.2: Unterschiede im physikbezogenen Selbstkonzept der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht werden (nach Kontrolle der angeführten Variablen) signifikant durch Unterschiede in den epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte erklärt.

H3.3: Unterschiede im physikbezogenen Selbstkonzept der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht werden (nach Kontrolle der angeführten Variablen) signifikant durch Unterschiede in der Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen der Lehrkräfte erklärt.

6.3.4 Forschungsfrage 4: Elemente der Sachstruktur des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts teilnehmender Lehrkräfte

F4: Wie lässt sich der Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht in der siebten und achten Jahrgangsstufe der teilnehmenden Lehrkräfte auf globaler Ebene beschreiben?

F4.1a: Welche Inhalte thematisieren die teilnehmenden Lehrkräfte in ihrem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht?

F4.1b: In welcher zeitlichen Reihenfolge thematisieren die teilnehmenden Lehrkräfte die Inhalte im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht?

F4.1c: Welche Analogiemodelle setzen die teilnehmenden Lehrkräfte in ihrem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht ein?

F4.1d: Wie setzen die teilnehmenden Lehrkräfte Analogiemodelle in ihrem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht ein?

F4.2: Inwiefern lässt sich anhand der Ergebnisse aus F4a bis F4d ein traditioneller Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht, welchem ein Großteil der Lehrkräfte folgt, identifizieren?

7 Untersuchungsdesign

In diesem Kapitel wird das konkrete Untersuchungsdesign dieser Dissertation (Kapitel 7.1) inklusive einer Beschreibung der Stichprobe (Kapitel 7.2) vorgestellt. Kapitel 7.3 widmet sich den methodischen Grundlagen der Auswerteverfahren dieser Dissertationsstudie. In Kapitel 7.4 werden die eingesetzten Testinstrumente und Skalen auf Lehrkräfteebene und die Ergebnisse der Pilotierungsstudie dargestellt. Da nicht die Entwicklung von Schülermerkmalen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht sondern deren Zusammenhänge mit Lehrkräftermerkmalen einen Fokus dieser Dissertation darstellen, werden bereits in Kapitel 7.5 die eingesetzten Testinstrumente und Skalen auf Schülerebene inklusive der Ergebnisse in der Hauptstudie beschrieben. Kapitel 7.6 widmet sich schließlich der Beschreibung des eingesetzten Unterrichtslogbuchs und den daraus resultierenden Kategoriensystemen.

Die dieser Dissertation zugrundeliegende empirische Untersuchung wurde als Teilstudie des in Kapitel 6.1 beschriebenen Projekts EPo-EKo durchgeführt, weshalb das Studiendesign dieser Dissertation weitestgehend in Abstimmung mit den weiteren Projektzielen von EPo-EKo festgelegt wurde. Während die Auswahl, Pilotierung und Administrierung der Testinstrumente auf Lehrkräfteebene durch den Autor dieser Arbeit erfolgte, wurden die Schülerdaten vom gesamten Projektteam an den jeweiligen Standorten erhoben.

In diesem Kapitel wird der Teil des Studiendesigns von EPo-EKo vorgestellt, welcher für die empirische Untersuchung in dieser Arbeit relevant ist. Deshalb ist die Beschreibung des Studiendesigns auf das erste Projektjahr von EPo-EKo beschränkt. Anschließend erfolgt eine Beschreibung der Studiendurchführung dieser Dissertationsstudie. Nach einem Überblick über die im Rahmen dieser Dissertation relevanten Stichproben (Kapitel 7.2) werden zentrale statistische Methoden beschrieben, welche der Auswertung zu Grunde liegen (Kapitel 7.3). In Kapitel 7.6 werden schließlich die eingesetzten Testinstrumente sowie Erhebungsinstrumente für die Analyse der Sachstruktur des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts genauer beschrieben.

Das Gesamtprojekt EPo-EKo wird als eine quasi-experimentelle Feldstudie (Bortz & Döring, 2015) durchgeführt, in dem der im Zuge dieser Arbeit analysierte Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht der Lehrkräfte als Vergleichsgruppe

des Gesamtprojekts dient. In diesem ersten Projektjahr (2018) von EPo-EKo wurden die teilnehmenden Lehrkräfte gebeten, die Anfangs-Elektrizitätslehre in der Jahrgangsstufe 7 oder 8 so zu unterrichten, wie sie das typischerweise tun und wie sie es auch ohne eine Projektteilnahme machen würden. Der Begriff Anfangs-Elektrizitätslehre bezieht sich auf einen Unterricht, in dem Lernende ein erstes Verständnis des Spannungsbegriffs entwickeln sollen.

Um Rückschlüsse auf den durch diesen, für jede Lehrkraft typischen, Unterricht erzielten Lernerfolg der SchülerInnen tätigen zu können, wird das Gesamtprojekt in einem Prä-Post-Follow-Up-Design durchgeführt, wobei im Zeitraum zwischen der Prä- und Post-Erhebung der Elektrizitätslehreunterricht in den teilnehmenden Klassen stattfindet. Einen Fokus dieser Dissertation stellt die Analyse des Zusammenhangs ausgewählter Lehrkräftemerkmale mit dem Lernerfolg von SchülerInnen während des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts dar. Daher werden nur die Prä- und Posttests der SchülerInnen für die Analyse verwendet, weshalb die Erhebung der Follow-Up Tests in der Beschreibung der Studiendurchführung nicht dargestellt ist.

Zur Messung des fachlichen Lernerfolgs wurde ein bereits bestehendes (Urban-Woldron & Hopf, 2012), jedoch weiterentwickeltes (Ivanjek et al., 2019) Testinstrument zur Elektrizitätslehre eingesetzt. Der Prä- und Post-Test wurde dabei durch insgesamt elf Items (Prä-Test) verankert. Der Post-Test bestand aus insgesamt 26 Items, verteilt auf zwei Testhefte.

Zur Messung der Entwicklung des Fachinteresses (Dopatka, i.V.; Frey et al., 2009) sowie des physikbezogenen Selbstkonzepts (Hoffmann, Häußler & Lehrke, 1998) wurden zum Teil bereits bestehende sowie zum Teil im Zuge des Gesamtprojekts EPo-EKo entwickelte Instrumente eingesetzt und sowohl in der Prä- als auch der Post-Erhebung verwendet. Alle Erhebungen auf Schülerebene wurden in einem Papier-und-Bleistift-Format durchgeführt. Die Lehrkräftemerkmale wurden nach Abschluss der Post-Erhebung mittels des Online-Tools „limesurvey“ (Engard, 2009) erhoben. Eine Übersicht findet sich in Abbildung 35.

Die Lehrkräfte wurden zudem gebeten, nach jeder Unterrichtsstunde ein für diese Studie entwickeltes Unterrichtslogbuch auszufüllen (für eine genauere Beschreibung siehe Kapitel 7.6) sowie nach Ende des Elektrizitätslehreunterrichts dem Projektteam ein möglichst vollständiges Schülerheft bzw. eine durchgängige Mitschrift einer Schülerin bzw. eines Schülers zukommen zu lassen.

Erhebungen im Zuge dieser Studie wurden in den deutschen Bundesländern Bayern und Hessen sowie den österreichischen Bundesländern Burgenland, Niederösterreich, Kärnten, Steiermark und Wien durchgeführt. Auf Basis der Unterschiede in den beiden teilnehmenden Ländern und damit in Verbindung stehenden unterschiedlichen Lehrplänen und Stundentafeln (zwischen einer und drei Physikstunden pro Woche), aber auch aufgrund der unterrichtlichen Freiheiten der Lehrkräfte unterscheidet sich der Zeitraum zwischen Prä- und Posterhebungen deutlich. Deshalb wurde für die quantitativen Analysen die Anzahl der unterrichteten Minuten als Kontrollvariable mitaufgenommen.

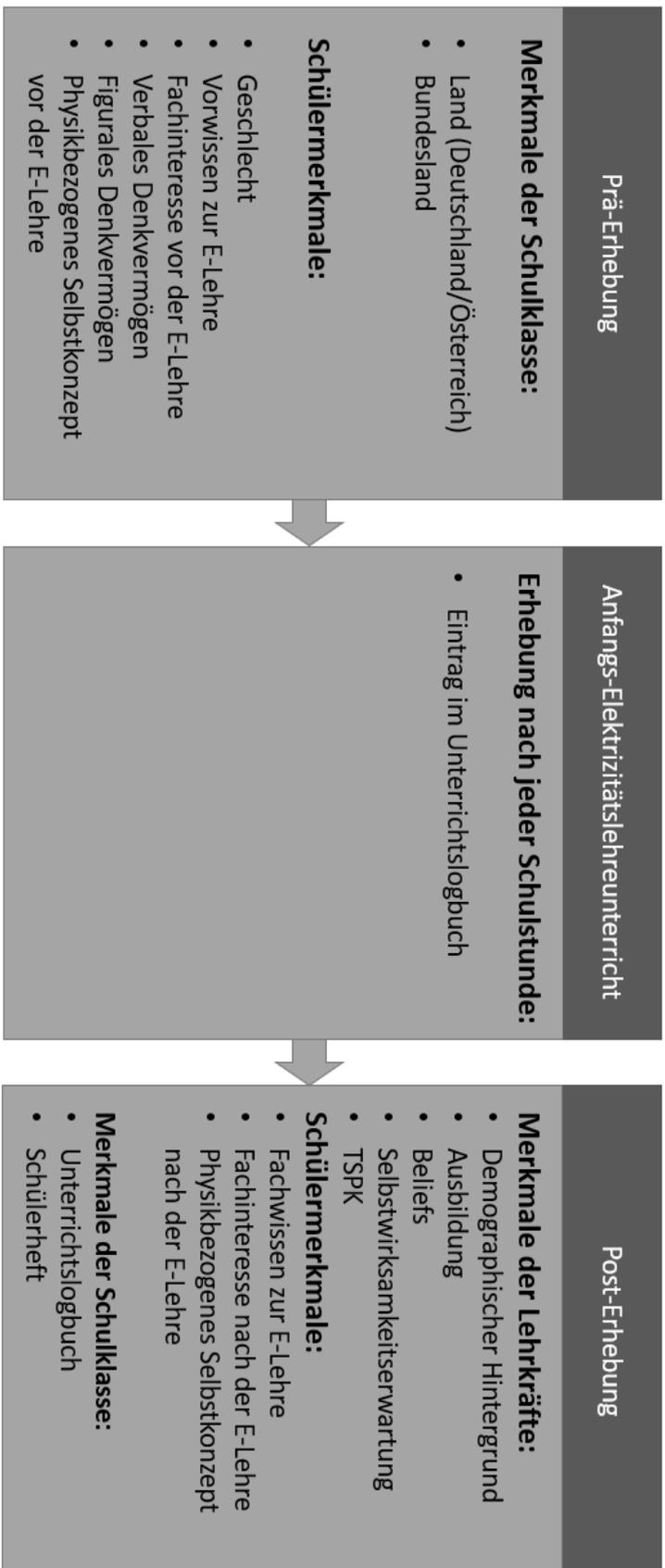


Abbildung 35: Schematische Darstellung des Studiendesigns für die vorliegende Dissertationsstudie.

7.1 Durchführung der Studie

Um sowohl eine ausreichend große Stichprobe für das Gesamtprojekt EPo-EKo, als auch für die Studie im Zuge dieser Dissertation zu erreichen, wurde das Projekt an allen vier Projektstandorten (Darmstadt, Frankfurt, Graz und Wien) beworben. Die zur Verfügungstellung von Unterrichtsmaterialien (EPo sowie EPo-EKo) in Form von Schülerheften für die teilnehmenden Klassen kann als Anreiz für die Teilnahme am Gesamtprojekt EPo-EKo und somit auch für diese Dissertationsstudie gesehen werden. Finanzielle Anreize für die Teilnahme am Projekt gab es jedoch keine.

Die Datenerhebung für diese Dissertation wurde zwischen Januar und Juli 2018 durchgeführt. Die Pilotierung der Testinstrumente, wo notwendig, erfolgte im Zeitraum von Oktober 2017 bis Februar 2018.

Die Prä-Erhebungen zu diesem Dissertationsprojekt (siehe Abbildung 35) fanden in jeder Klasse jeweils in der Stunde vor dem Beginn des Anfang-Elektrizitätslehreunterrichts statt, wobei dieser Zeitraum zwischen Januar 2018 und März 2018 zwischen den Lehrkräften variierte. Die Prä-Erhebung war aufgrund der Erhebung der Kontrollvariablen auf 45 Minuten angesetzt und bestand aus zwei Teilen. Nach dem Vorlesen des Testleitermanuals wurde das verbale und figurale Denkvermögen (BIS-HB) der SchülerInnen erhoben, die Bearbeitungszeit dafür betrug fünf Minuten. Danach füllten die SchülerInnen die Skalen zum Fachinteresse sowie Selbstkonzept aus und dann bearbeiteten sie den Fachwissenstest, wobei die Reihenfolge der Bearbeitung den SchülerInnen überlassen war.

Zur Anonymisierung der Daten wurde den teilnehmenden SchülerInnen ein bestimmter Code zugewiesen. Dieser sechsstellige Code bestand aus den ersten beiden Buchstaben des Vornamens des Vaters, den ersten beiden Buchstaben des Vornamens der Mutter sowie aus dem Geburtstag des Schülers oder der Schülerin.

Die Post-Erhebung verlief aus organisatorischer Perspektive sehr ähnlich zur Prä-Erhebung. Es änderte sich lediglich der Inhalt des Testbogens: Während das figurale und verbale Denkvermögen der SchülerInnen nicht mehr erhoben wurde, wurden dem Fachwissenstest weitere Items hinzugefügt, um das Fachwissen der SchülerInnen detaillierter zu erheben.

7.2 Beschreibung der Stichprobe

7.2.1 Beschreibung der Lehrkräftestichprobe

Insgesamt liegen im Rahmen dieser Dissertation die Daten von 32 Gymnasiallehrkräften im Fach Physik und einer bzw. zwei zugehörigen Klassen der 7. oder 8. Jahrgangsstufe vor. In Tabelle 8 sind der demographische Hintergrund, die Lehrerfahrung sowie der Stundenumfang der unterrichteten Physikstunden im Schuljahr 2017/18 der Lehrkräfte dargestellt. Da die Teilnahme am Gesamtprojekt EPo-EKo freiwillig war, konnte im Rahmen dieser Dissertation keine bewusst repräsentative Stichprobe untersucht werden.

Tabelle 8: Demographischer Hintergrund, Lehrerfahrung und Anzahl der unterrichteten Schulstunden im Fach Physik im Schuljahr 2017/18 der 32 Lehrkräfte.

Merkmal				
Geschlecht	47% weiblich		53% männlich	
Land	50% Österreich		50% Deutschland	
	M	SD	Min	Max
Alter in Jahren	40,0	9,8	26	62
Dienstjahre	11,0	8,4	2	38
Physikunterricht in Stunden/Woche im Schuljahr 2017/18	12,4	6,0	2	24

Das durchschnittliche Alter der Physiklehrkräfte beträgt 40,0 Jahre ($SD = 9,8$ Jahre), während die durchschnittliche Berufserfahrung als Lehrkraft bei durchschnittlich 11,0 Jahren ($SD = 8,4$ Jahre) liegt. Der Anteil an deutschen Lehrkräften in der Stichprobe unterteilt sich weiters in 10 bayrische sowie sechs hessische Lehrkräfte. Eine der in Bayern unterrichtenden Lehrkräfte und eine in Hessen unterrichtende Lehrkraft sind zudem als Fachleiter tätig. Der Anteil an weiblichen Lehrkräften liegt bei 47 %. Für Österreich liegen keine Statistiken darüber vor, wie groß der Anteil an weiblichen Physiklehrkräften insgesamt ist. Deshalb kann an dieser Stelle keine Aussage darüber getätigt werden, ob die 47 % eine Über- oder Unterrepräsentation an weiblichen Physiklehrkräften darstellt. Die

Lehrkräfte unterrichteten im Schuljahr 2017/18 im Durchschnitt 12,4 Unterrichtsstunden (SD = 6,0 Stunden) Physik, wobei die Anzahl an Physikstunden von 2 bis 24 Stunden variierte.

7.2.2 Beschreibung der Schülerstichprobe

Die Gesamtanzahl teilnehmender SchülerInnen bei der dieser Dissertation zugrundeliegenden Untersuchung liegt bei 874 Lernenden in insgesamt 41 Klassen. Die durchschnittliche Klassengröße innerhalb dieser Stichprobe lag bei 21,6 SchülerInnen (SD = 3,9; Min = 9; Max = 28). In Tabelle 9 ist eine Übersicht des demographischen Hintergrunds der Lernenden auf Individualebene der SchülerInnen dargestellt.

Tabelle 9: Demographischer Hintergrund der Lernenden auf Individualebene.

Merkmale		
Geschlecht	50% weiblich (441 Lernende)	50% männlich (433 Lernende)
Land	53% Österreich (461 Lernende)	47% Deutschland (413 Lernende)
Jahrgangsstufe	4% Jgst 8 (39 Lernende)	96% Jgst 7 (835 Lernende)

Von den insgesamt 874 SchülerInnen waren 441 Lernende weiblich und 433 Lernende männlich. 53 % der SchülerInnen wurden in Österreich unterrichtet, 47 % in Deutschland. Da der Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht in Hessen in der siebten oder achten Jahrgangsstufe stattfinden kann, wurden 4 % aller Lernenden in einer achten Jahrgangsstufe unterrichtet.

7.3 Methodische Grundlagen der Auswerteverfahren

Nach der Beschreibung des Studiendesigns werden in diesem Kapitel die wichtigsten Verfahren beschrieben, die für ein Verständnis der Ergebnisse dieser Studie relevant sind.

7.3.1 Rasch-Modellierung

Die Analyse der in dieser Dissertation eingesetzten Skalen und Testinstrumente wurden auf Basis der probabilistischen Testtheorie (Bühner, 2011) durchgeführt.

Der Einsatz von Modellen, die dieser Testtheorie genügen, wie zum Beispiel das Rasch-Modell für dichotome Items, ermöglichen lineare, intervallskalierte Messungen der erhobenen Konstrukte. Bei einem Testinstrument, welches anhand klassischer Testtheorie ausgewertet wird, kann a priori nicht davon ausgegangen werden, dass der berechnete Testscore eine intervallskalierte Variable darstellt (Boone, Staver & Yale, 2014).

Die Position oder Fähigkeit einer Person in Bezug auf das gemessene Konstrukt wird *Personenfähigkeit* genannt. Je höher die Personenfähigkeit einer bestimmten Person, desto stärker ist die Ausprägung dieser Person im gemessenen Konstrukt (Boone et al., 2014). Um derartige Personenfähigkeiten in einem möglichst großen Bereich und möglichst präzise messen zu können, muss das eingesetzte Testinstrument Fragen bzw. Items beinhalten, die einen unterschiedlichen Schwierigkeitsgrad aufweisen. Diese Eigenschaft der Items wird als *Itemschwierigkeit* bezeichnet (Planinic, Boone, Susac & Ivanjek, 2019). Ein gutes, raschskaliertes Testinstrument sollte dementsprechend aus Items bestehen, deren Itemschwierigkeiten möglichst gut entlang des zu messenden Konstruktes verteilt sind (Ivanjek, Susac, Planinic, Andrasevic & Milin-Sipus, 2016).

Die Beziehung zwischen der Personenfähigkeit B_n einer Person und der Itemschwierigkeit D_i eines Items wird durch eine probabilistische Beziehung beschrieben. Dabei ist die Wahrscheinlichkeit P_{ni} einer richtigen Antwort der Person n auf das Item i für ein dichotomes Rasch-Modell gegeben durch (Ivanjek et al., 2016):

$$P_{ni} = \frac{e^{B_n - D_i}}{1 + e^{B_n - D_i}}$$

Die Lösungswahrscheinlichkeit wird dementsprechend durch die Differenz $B_n - D_i$ bestimmt. Ist die Personenfähigkeit B_n einer Person also gleich der Itemschwierigkeit des Items D_i , so beträgt die Wahrscheinlichkeit für das korrekte Lösen des Items 0,5. Ist die Personenfähigkeit wesentlich höher als die Itemschwierigkeit, so bewegt sich die Lösungswahrscheinlichkeit gegen 1. Ist die Personenfähigkeit sehr viel geringer als die Itemschwierigkeit, geht die Lösungswahrscheinlichkeit gegen 0. Dieses einfache Rasch-Modell kann jedoch nur für Testinstrumente verwendet werden, deren Items ausschließlich dichotom formuliert sind. Außerdem ist die Genauigkeit der Schätzung von Personenfähigkeiten

in Rasch-Modellen abhängig von der Stichprobengröße. Im Zuge dieser Dissertation wird dieses Schätzmodell für die Analyse des Fachwissenstests der SchülerInnen eingesetzt.

Besteht ein Test aus Items, auf die mehrere Punkte (zum Beispiel im Sinne von teilrichtigen Antworten) vergeben werden können, so kann die Schätzung der Personenfähigkeiten auf Basis eines sogenannten Partial-Credit-Modells durchgeführt werden (Wright & Masters, 1982). Für die Analyse von Likert-skalierten Items eignet sich schließlich der Einsatz von Rating-Scale-Modellen (Andersen, 1997).

Im Zuge dieser Dissertation wurden die Personenfähigkeiten und Itemschwierigkeiten mithilfe der Software *R* (R Core Team, 2013) unter Verwendung des Paketes *TAM* (Robitzsch, Kiefer & Wu, 2019) mithilfe eines Weighted-Likelihood-Schätzers geschätzt. Dabei werden die klassischen Testscores in sogenannte Logits (log odds units) konvertiert. Die mittlere Personenfähigkeit wird dabei willkürlich auf den Wert 0 fixiert. Die Schätzungen sowohl für die Personenfähigkeiten als auch für die Itemschwierigkeiten sind mit einem gewissen Schätzfehler behaftet, der von der Anzahl der ProbandInnen und der Items sowie der Passung zwischen Items und ProbandInnen abhängt. Für nähere Informationen über das Rasch-Modell und die Schätzung siehe zum Beispiel Boone et al. (2014).

Die resultierenden Personenfähigkeiten und Itemschwierigkeiten bilden schließlich intervallskalierte Messungen. Eine Person mit einer Personenfähigkeit von 2 ist also doppelt so fähig in Bezug auf das gemessene Konstrukt wie ein Proband mit der Personenfähigkeit 1. Für eine klassische Punkteverteilung auf einen Test gilt diese Annahme nicht, woraus einer der größten Vorteile des Rasch-Modells resultiert.

Somit werden Itemschwierigkeiten und Personenfähigkeiten auf derselben Skala gemessen und können daher vergleichsweise wie in Abbildung 36 dargestellt werden. In der unteren Hälfte dieser Person-Item-Map oder Wright-Map ist die Verteilung der Personenfähigkeiten dargestellt, während in der oberen Hälfte die Verteilung der Itemschwierigkeiten dargestellt ist.

Die Verteilung der Itemschwierigkeiten sollte also zwei Eigenschaften möglichst gut genügen: Die Items sollten einen möglichst großen Logits-Bereich abdecken,

um einen möglichst großen Umfang an Personenfähigkeiten ohne zu große Fehler messen zu können. Außerdem sollte die Verteilung der Itemschwierigkeiten im Idealfall ähnlich der Verteilung der Personenfähigkeiten des Samples sein.

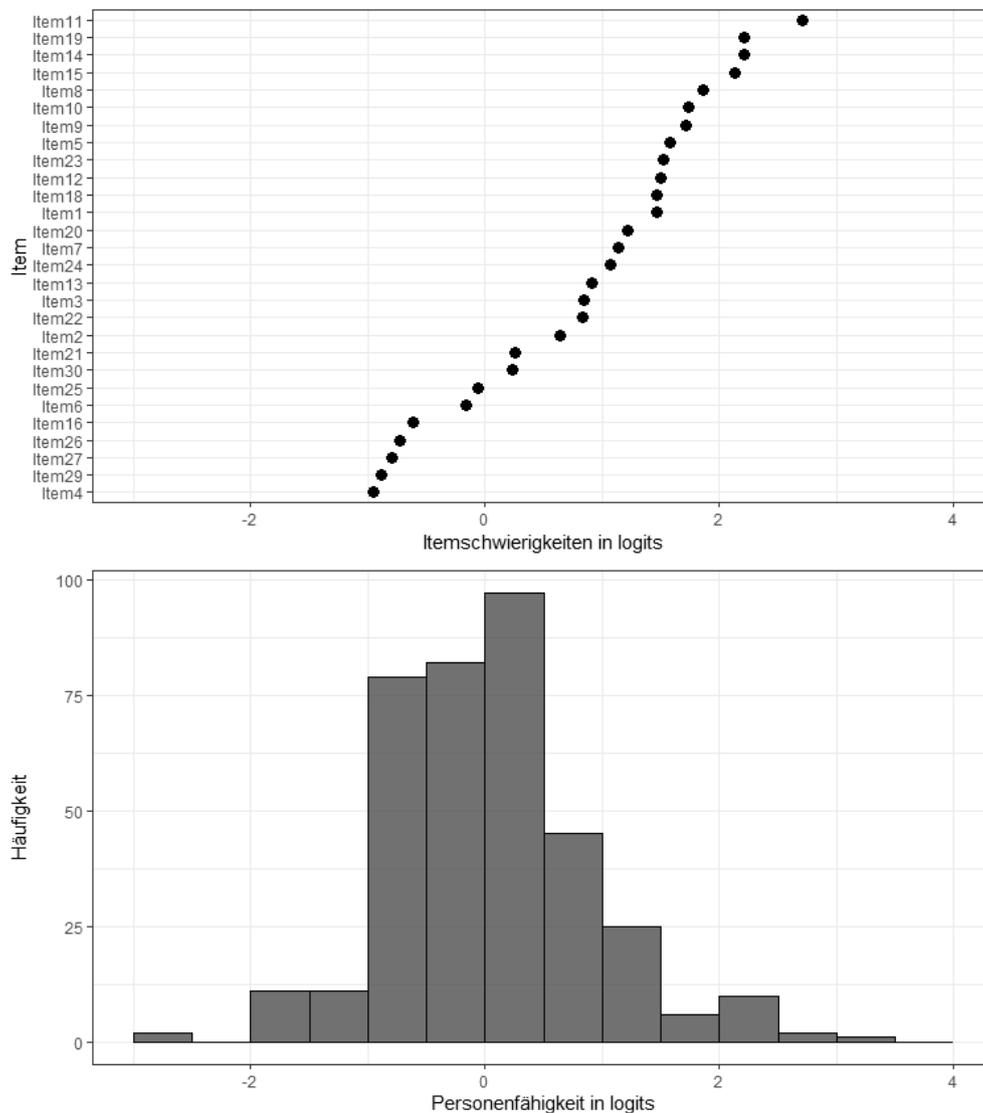


Abbildung 36: Beispiel einer Wright-Map. In der unteren Abbildungshälfte ist die Verteilung der Personenfähigkeiten des Samples in Logits zu sehen. In der oberen Abbildungshälfte ist die Verteilung der Itemschwierigkeiten der jeweiligen Items in Logits aufgetragen.

Außerdem lassen sich für jedes einzelne Item und jede Person sogenannte Residuen bestimmen. Diese Residuen sind die Differenz aus den (theoretischen) Lösungswahrscheinlichkeiten jeder Person für jedes Item und dem beobachteten (realen) Score auf das jeweilige Item. Anhand dieser Residuen kann die Passung einzelner Items in Bezug auf das Gesamtmodell evaluiert werden. Zumeist werden dabei zwei Fit-Werte rückgemeldet: *Infit*- und *Outfit*-Mean-Square-Statistiken, die im Idealfall den Wert 1 aufweisen. Im Zuge der vorliegenden Dissertation werden die von Bond und Fox (2015) empfohlenen Kriterien verwendet, die

Infit- und Outfitwerte zwischen 0,8 und 1,2 als geeignet betrachten. Hohe Infitwerte bedeuten, dass Personen mit einer Personenfähigkeit, die nahe der Itemschwierigkeit liegt, nicht gemäß dem Messmodell geantwortet haben. Hohe Outfitwerte bedeuten, dass ProbandInnen mit einer Personenfähigkeit, die weit entfernt von der Itemschwierigkeit des Items liegt, unerwartet oder nicht modellgemäß geantwortet haben. Ein erhöhter Outfitwert für ein schwieriges Item bedeutet also, dass einige weniger fähige Personen dieses Item unerwartet richtig beantwortet haben. Ein erhöhter Outfitwert für ein leichtes Item bedeutet, dass einige sehr fähige Personen dieses Item unerwartet falsch beantwortet haben.

Zuletzt sollte für den Einsatz eines Rasch-skalierten Testinstruments sichergestellt werden, dass die jeweiligen Items keine bestimmte Personengruppe bevorzugen bzw. benachteiligen. So könnte zum Beispiel der Fall auftreten, dass bestimmte Items für Männer schwieriger sind als für Frauen und vice versa. Dieser Umstand wird *Differential Item Functioning* (DIF) genannt (Linacre, 2011). Kleinere DIF-Effekte können laut Literatur (z. B. Planinic et al., 2019) ignoriert werden, während bei größeren DIF-Effekten die jeweiligen Items von weiteren Analysen ausgeschlossen werden sollten. In dieser Dissertation wurden alle DIF-Analysen mithilfe des R-Paketes *sirt* (Robitzsch, 2019) durchgeführt, indem für die jeweiligen Items logistische Regressionsanalysen durchgeführt wurden.

7.3.2 Mehrebenenanalyse

Die Analysen anhand der Forschungsfragen 1 bis 3 dieser Dissertation sollen beantworten, inwiefern Unterschiede im Fachwissen, Fachinteresse und physikbezogenen Selbstkonzept der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht durch bestimmte Lehrkräfte Merkmale erklärt werden können. Sollen derartige Fragestellungen anhand gängiger statistischer Verfahren (wie zum Beispiel einer Regressions- oder Varianzanalyse) untersucht werden, so muss eine statistische Unabhängigkeit der einzelnen Messungen vorausgesetzt werden (J. Cohen, Cohen, West & Aiken, 2003; Gelman & Hill, 2017). Diese voraussetzende Unabhängigkeit ist aber gerade in Feldstudien nicht realisierbar. Das gesamte Schulwesen ist auf unterschiedlichen Ebenen organisiert, welche letztendlich eine hierarchische Struktur zeigen. So lernen alle an dieser Studie teilnehmenden SchülerInnen gemeinsam in ihren Schulklassen die Elektrizitätslehre und werden dabei von einer bestimmten Lehrkraft in einer bestimmten Schule

eines bestimmten Bundeslandes unterrichtet. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die SchülerInnen einer bestimmten Schulklasse mehr gemeinsame Vorerfahrungen aufweisen als zum Beispiel zwanzig zufällig zusammengewürfelte SchülerInnen aus Deutschland und Österreich. Dieser Umstand bezieht sich nicht nur auf die Vorerfahrungen der SchülerInnen, sondern insbesondere auch auf den (Elektrizitätslehre-)Unterricht. So muss insgesamt davon ausgegangen werden, dass SchülerInnen einer Schulklasse nur einen verringerten Informationsbeitrag zu statistischen Schätzungen liefern (Twisk, 2006). Wie hoch dieser Informationsverlust pro Lernendem bzw. pro Lernender ausfällt, ist wiederum von Studie zu Studie unterschiedlich, kann jedoch mittels einer Intraklassenkorrelation abgeschätzt werden. Möchte man also den Zusammenhang von bestimmten Lehrkräftemerkmalen mit unterrichtlichem Erfolg in der Anfangs-Elektrizitätslehre untersuchen, muss dieser Beeinflussung durch Schulklassenspezifika Rechnung getragen werden (Kuhn, 2014), weil es ansonsten zu einer Reihe an Ergebnisverzerrungen kommen kann.

Die Mehrebenenanalyse oder auch multi level analysis (MLA) stellt hier eine sinnvolle Methode dar, mit hierarchischen Daten umzugehen. Eine derartige, hierarchische Datenstruktur wird in der Literatur oftmals auch als „geschachtelt“ oder „geclustert“ bezeichnet. In den Auswertungen dieser Studie werden im Sinne dieser Schachtelung zwei Ebenen unterschieden, die Lernenden (Ebene 1), welche in Schulklassen (Ebene 2) geschachtelt sind, wie in Abbildung 37 dargestellt.

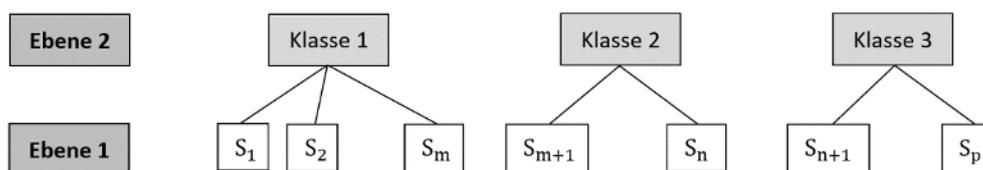


Abbildung 37: Schematische Darstellung der hierarchischen Datenstruktur mittels zweier Ebenen. Quelle: Kuhn (2014)

Aus dieser Unterscheidung in mehrere Ebenen ergeben sich außerdem weitere Vorteile: So kann zwischen Prädiktoren auf der Individualebene und auf der Schulklassenebene unterschieden werden und es können sogar Interaktionen zwischen Variablen auf unterschiedlichen Ebenen untersucht werden (Langer, 2009). Außerdem resultieren im Vergleich zu Verfahren wie ANCOVA oder der

multiplen linearen Regressionsanalyse adäquatere Schätzungen der entsprechenden Effekte aber auch deren Unsicherheiten (Twisk, 2006).

Für die Durchführung einer Mehrebenenanalyse lassen sich mehrere Schritte und damit in Verbindung stehende Modellklassen identifizieren (Langer, 2010), die für die Durchführung relevant sind. Im Folgenden werden in Anlehnung an Langer (2010) sowie Kuhn (2014) diese Schritte näher beschrieben.

Im ersten Schritt einer Mehrebenenanalyse wird ein sogenanntes „Nullmodell“ geschätzt, dessen wichtigste Funktion darin besteht, die Schulklassenabhängigkeit der abhängigen Variable (in dieser Studie das Fachwissen, Interesse oder Selbstkonzept der SchülerInnen) festzustellen. Als Regressionskonstante wird im Random-Intercept-Only-Modell (RIOM) daher lediglich die Konstante γ_{00} (als Gesamtmittelwert der abhängigen Variable aller SchülerInnen in allen Schulklassen) unter der Annahme geschätzt, dass diese zwischen den Schulklassen variiert. Die Regressionskonstanten β_{0j} beschreiben den Mittelwert der abhängigen Variable für die Schulklasse j . Ihr Klassenresiduum u_{0j} beschreibt die Abweichung des Klassenmittelwertes der Schulklasse j vom Gesamtmittelwert, während das Individualresiduum r_{ij} die Abweichung der abhängigen Variable eines einzelnen Schülers oder einer einzelnen Schülerin i in der Schulklasse j vom Mittelwert der abhängigen Variable in der Schulklasse j beschreibt. Daraus ergeben sich zwei unterschiedliche Notationen eines Mehrebenenmodells: Eine Möglichkeit ist die Eingleichungsform (Raudenbush & Bryk, 2010), andere Werke verwenden eine Strukturgleichungsform (wie z. B. in Burde, 2018). Zur Übersicht werden die beiden Darstellungsformen gegenübergestellt. Im weiteren Verlauf wird durchgängig die Eingleichungsform verwendet. Die Darstellung des RIOM-Modells in der Eingleichungsform ist folgende:

$$Y_{ij} = \gamma_{00} + u_{0j} + r_{ij} \quad (1)$$

In der Strukturgleichungsform werden die beiden Ebenen (also Individual- und Schulklassenebene) separat dargestellt:

$$\text{Ebene 1: } Y_{ij} = \beta_{0j} + r_{ij} \quad (2)$$

$$\text{Ebene 2: } \beta_{0j} = \gamma_{00} + u_{0j} \quad (3)$$

Das RIOM-Modell zerlegt also die zu untersuchende Gesamtvarianz der abhängigen Variable Y in zwei Komponenten: Die Varianz innerhalb einer Schulklasse als Abweichungen der einzelnen SchülerInnen vom Schulklassenmittelwert ($\sigma_{r_{ij}}^2$) einerseits und die Varianz zwischen den Schulklassen als Abweichungen der Schulklassenmittelwerte vom Gesamtmittelwert ($\sigma_{u_{0j}}^2$) andererseits. Mithilfe dieser beiden Varianzkomponenten können schließlich die Intraklassenkorrelation (ICC) sowie der Intraklassenkorrelationskoeffizient (ρ) bestimmt werden, siehe Formel 4.

$$\rho = \frac{\sigma_{u_{0j}}^2}{\sigma_{u_{0j}}^2 + \sigma_{r_{ij}}^2} \quad (4)$$

Dieser Koeffizient ρ stellt ein Maß dafür dar, welcher Anteil der Gesamtvarianz der abhängigen Variable Y potenziell auf der jeweiligen Ebene aufgeklärt werden kann. Nach Hartig und Rakoczy (2010) sollte ab einem Wert von $\rho > .10$ in jedem Fall eine Mehrebenenanalyse durchgeführt werden, da ansonsten mit einer Alpha-Fehler-Inflation gerechnet werden muss. Aber auch kleinere Werte können bereits einen Einfluss auf Schätzergebnisse erzielen, da nicht mehr von einer statistischen Unabhängigkeit der Daten ausgegangen werden kann (Geiser, 2011).

Im zweiten Schritt werden nun mit einer Step-Up-Strategie (Raudenbush & Bryk, 2010; Twisk, 2006) sukzessive Prädiktoren hinzugefügt. Liefert der Prädiktor einen wesentlichen Beitrag zur Varianzaufklärung der abhängigen Variable oder trägt er zu einer signifikanten Modellverbesserung bei, wird er in das Modell aufgenommen. Um zu entscheiden, ob ein Modell durch das Hinzufügen eines Prädiktors verbessert wurde, werden im Zuge dieser Arbeit unterschiedliche Indikatoren herangezogen, die auf der Devianz der Modelle basieren. Einen Indikator stellt der Vergleich der beiden in Frage kommenden Modell mithilfe eines sogenannten „Likelihood-Ratio-Tests“ dar (Bates, Mächler, Bolker & Walker, 2015). Der Begriff Likelihood bezieht sich dabei auf die Log-Likelihood (L) der Modellschätzung, aus dem sich schließlich die Devianz $D = -2 \log(L)$ des Modells berechnet. Grundsätzlich gilt, dass ein Modell dann besser zu den empirischen Daten passt, je kleiner dessen Devianz ist. Deshalb wird in einem nächsten Schritt anhand eines einseitigen χ^2 -Tests ermittelt, ob eine potenzielle Modellverbesserung sich auch als statistisch signifikant herausstellt. Die Anzahl der

Freiheitsgrade df ergibt sich dabei durch die Differenz der Modellparameter der beiden verglichenen Modelle.

In der vorliegenden Arbeit werden zusätzlich Informationskriterien für die Entscheidung zwischen zwei Modellen herangezogen. Damit soll ein Ausgleich zwischen der zusätzlichen Modellkomplexität durch zusätzlich aufgenommene Prädiktoren sowie der Passung des Modells gefunden werden. Konkret ist dies das Bayessche Informationskriterium (BIC). Das BIC berücksichtigt gleich wie das AIC die Anzahl der geschätzten Parameter, jedoch wird in der Berechnung des BIC auch noch die Stichprobengröße berücksichtigt.

Wurden anhand dieser Vorgehensweise alle relevanten Ebene-1-Prädiktoren in das Modell aufgenommen, so spricht man von der Schätzung eines sogenannten Random-Intercept-Modells (RIM), welches folgendermaßen notiert werden kann:

$$Y_{ij} = \gamma_{00} + \gamma_{10}X_{ij} + u_{0j} + r_{ij} \quad (5)$$

Das RIOM-Modell wurde also um die Prädiktoren X_{ij} erweitert, wobei der Steigungsparameter γ_{10} für alle Schulklassen konstant gehalten wird.

Im dritten Schritt kann dann untersucht werden, ob die Steigungsparameter der berechneten Regressionen für die jeweiligen Schulklassen systematisch zwischen den Klassen variieren (auch „Zufallseffekt“ genannt). Zum Beispiel könnte der Zusammenhang zwischen dem Interesse an Physik vor der Anfangs-Elektrizitätslehre und dem Ergebnis auf den Fachwissenstest in der Post-Erhebung differenziell für die Schulklassen ausfallen. Der im RIM-Modell für alle Schulklassen konstant gehaltene Steigungsparameter γ_{10} wird also um einen schulklassenabhängigen Residualterm u_{1j} erweitert, der die Abweichung der Steigung innerhalb einer bestimmten Schulklasse von der Populationssteigung γ_{10} beschreibt (Langer, 2010). Dieses Random-Intercept-Random-Slope-Modell (RIRSM) lässt sich folgendermaßen notieren:

$$Y_{ij} = \gamma_{00} + \gamma_{10}X_{ij} + u_{1j}X_{ij} + u_{0j} + r_{ij} \quad (6)$$

Um diese schulklassenabhängigen Effekte auf statistische Signifikanz zu überprüfen, wird in dieser Arbeit wiederum auf den zuvor beschriebenen Likelihood-Ratio-Test zurückgegriffen.

Abhängig davon, ob das aufgestellte RIM oder RIRSM eine bessere Modellpassung aufweist, können schließlich die Aufklärung von Ebene-2-Variablen von Unterschieden in den Regressionskonstanten zwischen den Schulklassen (Intercept-as-Outcome-Model, IaOM) aber auch die Aufklärung der unterschiedlichen Steigungen der Regressionsgeraden (Slope-as-Outcome-Model, SaOM) untersucht werden (J. Cohen et al., 2003).

Liegt lediglich eine systematische Variation der Regressionskonstanten zwischen den Schulklassen vor, eignet sich das IaOM zur Erklärung der Unterschiede in den Regressionskonstanten durch Ebene-2 Variablen Z_j .

$$Y_{ij} = \gamma_{00} + \gamma_{01}Z_{.j} + \gamma_{10}X_{ij} + u_{0j} + r_{ij} \quad (7)$$

Liegt zusätzlich eine systematische Variation der Regressionssteigungen zwischen den Schulklassen vor, so können Unterschiede in den Steigungen im Zuge des SaOM durch Ebene-2 Variablen Z_j erklärt werden. Kombinierte Modelle, in welchen sowohl die Unterschiede in den Steigungen als auch den Konstanten mit Ebene-2-Variablen erklärt werden, werden auch Random-Coefficient-Modelle (RCM) genannt. Durch das zusätzliche Durchführen von Regressionen innerhalb der Schulklassen ergibt sich die in Abbildung 38 dargestellte Modellgleichung (Langer, 2010):

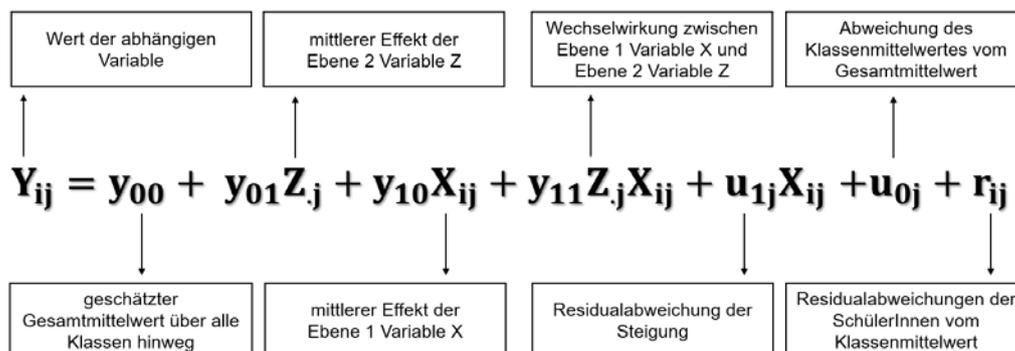


Abbildung 38: Modellgleichung eines Random-Coefficient Modells inklusive Beschreibungen der einzelnen Terme.

Nach der Beschreibung der unterschiedlichen Mehrebenenmodelle werden abschließend noch praktische Aspekte beschrieben. Die Schätzung der Modelle werden im Zuge dieser Arbeit mit der Software R unter Verwendung des Paktes *lme4* (Bates et al., 2015) sowie teilweise *lmerTest* (Kuznetsova, Brockhoff & Christensen, 2017) durchgeführt. Für die Schätzung der Parameter wird dabei auf ein Maximum-Likelihood Verfahren (ML) zurückgegriffen, auf dessen Basis

auch die zuvor beschriebenen Modellvergleiche mittels Likelihood-Ratio-Tests möglich sind.

Eine Voraussetzung für die Anwendung von Mehrebenenmodellen stellt zudem eine ausreichend große Stichprobe dar, insbesondere in Bezug auf die Anzahl der Ebene-2-Einheiten. Einen einheitlichen Richtwert für die Anzahl der Ebene-2-Einheiten gibt es in der Literatur nicht, Maas und Hox (2005) weisen zum Beispiel darauf hin, dass Mehrebenenanalysen bereits ab zehn Ebene-2-Einheiten eine ausreichende Robustheit aufweisen. Für die Untersuchung von festen Effekten (IaOM) wird jedoch in der Literatur öfters eine Mindestanzahl von 30 Einheiten auf der Aggregatsebene empfohlen, für die Schätzung von Steigungen (SaOM oder RCM) sollten noch größere Stichproben vorliegen (Hartig & Rakoczy, 2010; Snijders, 2005). Hox (2010) beschreibt, dass Zufallseffekte sowie deren Standardfehler bei kleineren Stichproben tendenziell eher unterschätzt werden, weshalb aufgrund der Stichprobengröße von 41 Schulklassen derartige Zufallseffekte im Zuge dieser Dissertation mit einer gewissen Vorsicht zu interpretieren sind.

Einen letzten wichtigen Aspekt für die Interpretation der Ergebnisse stellt die Zentrierung von Ebene-1-Prädiktoren dar. Im Zuge dieser Studie werden daher alle metrischen Ebene-1-Prädiktoren am Gesamtmittelwert der Stichprobe zentriert. Bei diesem sogenannten Grand-Mean-Centering wird von jeder Beobachtung des Prädiktors der Gesamtmittelwert über alle SchülerInnen subtrahiert. Nach dieser Zentrierung entspricht schließlich der neue Gesamtmittelwert dem Wert Null. Diese Zentrierung hat den Vorteil, dass schließlich die Gesamtregressionskonstante den Wert der abhängigen Variable angibt, wenn die jeweiligen zentrierten Prädiktoren den Wert Null annehmen. Die Gesamtregressionskonstante gibt somit also einen durchschnittlichen Wert bezogen auf die metrischen Ebene-1-Prädiktoren an.

7.3.3 Erhebung sachstruktureller Elemente

Für die Analyse der Sachstruktur – bzw. Elementen dieser – bieten sich, wie auch in Kapitel 4.1 dargestellt, unterschiedliche Zugänge an. Einen häufig verwendeten Zugang (z.B. Helaakoski & Viiri, 2014; Liepertz, 2017) stellt die Beobachtung oder Videographie von Unterrichtsstunden dar, deren Ursprünge letztendlich auf die Prozess-Produkt-Forschung zurückgehen (Brophy & Thomas, 1986).

Dieser Zugang ist jedoch extrem zeit- und ressourcenaufwändig und auch heikel auf rechtlicher Ebene.

Konkrete Unterrichtsbeobachtungen würden im Rahmen dieser Dissertation mit den obigen Zielsetzungen bedeuten, dass bei einer Stichprobengröße von 32 Lehrkräften und im Durchschnitt 18 unterrichteten Stunden im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht über 35.000 Minuten (bei 8 Stunden Arbeitszeit pro Tag würde das 30 Wochen reine Beobachtungszeit bedeuten) beobachtet werden, um die gewünschten Elemente untersuchen zu können. Um die Art und Reihenfolge der Inhalte über ein größeres Themengebiet hinweg zu untersuchen, benötigt es daher andere Arten von Zugängen. Nicht zuletzt auch deshalb, weil nicht davon ausgegangen werden kann, dass sich die Unterrichtsbeobachtung von einigen, wenigen Lehrkräften auf das gesamte Sample generalisieren lässt.

Eine weitere Möglichkeit der Forschungsfrage nachzugehen, stellen Fragebögen am Ende der Unterrichtseinheit dar, in der die teilnehmenden Lehrkräfte ihren Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht retrospektiv beschreiben sollen. Dieser Zugang thematisierte Inhalte oder instruktionale Praktiken zu untersuchen findet durchaus breite Anwendung, insbesondere im Zuge von Large-Scale Untersuchungen (Brewer & Stasz, 1996; Rowan, Correnti & Miller, 2002). Auf diese Art können Elemente der Sachstruktur auf einer globalen Ebene kostengünstig und leicht zu administrieren untersucht werden. In unterschiedlichen Studien hat sich jedoch herausgestellt, dass die Validität derartiger einmaliger, retrospektiver Auskünfte von Lehrkräften teilweise in Frage gestellt werden kann (Burstein, 1995; Mayer, 1999; Mullens et al., 1999).

Aus den soeben angeführten Gründen wird im Zuge dieser Arbeit deshalb auf einen anderen Zugang zurückgegriffen – Unterrichtslogbücher sowie Schülerhefte. Die teilnehmenden Lehrkräfte wurden im Zuge dieser Dissertationsstudie gebeten, ein standardisiertes Unterrichtslogbuch zur Dokumentation nach jeder Unterrichtsstunde für eine ihrer an der Studie teilnehmenden Klassen auszufüllen.

Dabei stellt sich ebenso wie für die Untersuchung mittels Fragebögen die Frage, inwiefern mithilfe derartiger Logbücher sachstrukturelle Teilelemente valide bestimmt werden können. Camburn und Barnes (2004) untersuchten Unterrichtsstunden von 31 Lehrkräften zum Lese/Sprachunterricht. Die Unterrichtsstunden wurden dazu von zwei vorab trainierten Personen beobachtet. Danach

wurden sowohl die beiden Beobachter als auch die unterrichtende Lehrkraft gebeten, ein gleich vorstrukturiertes Unterrichtslogbuch auszufüllen. Inhalt dieses Logbuchs waren sowohl thematisierte Inhalte als auch instruktionale Praktiken. Dabei zeigte sich, dass die Übereinstimmungsrate insgesamt im Bereich von 72% bis 90% zwischen den Lehrkräften und den Beobachtern lag. Besonders hoch war die Übereinstimmung, wenn die analysierten Elemente eine grobkörnige Auflösung hatten (also zum Beispiel thematisierte Inhalte) oder wenn dieselben Elemente in ähnlicher Weise bei vielen Lehrkräften vorkamen – im Vergleich zu solchen Elementen, die nur vereinzelt vorkamen. Ähnliche Ergebnisse berichten auch Burstein et al. (1995), Knapp (1995) und Porter (1993).

Aus diesem Grund werden für die Untersuchung sachstruktureller Elemente des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts der Lehrkräfte in der vorliegenden Dissertation Unterrichtslogbücher in Kombination mit Schülerheften eingesetzt. Die methodische Vorgehensweise und die entwickelten Kategoriensysteme sind in Kapitel 7.6 näher beschrieben.

7.3.4 Multidimensionale Skalierung

Im Zuge dieser Arbeit wird die Methode der multidimensionalen Skalierung (MDS) für die Beschreibung der Relationen zwischen den fachlichen Inhalten, welche die teilnehmenden Lehrkräfte in ihrem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht thematisiert haben, eingesetzt. Während in Kapitel 7.3.3 und 7.6 beschrieben wird, inwiefern diese Methode für diese Dissertation adaptiert wurde, werden in diesem Kapitel die Grundideen dieser Methode beschrieben.

Borg (2010) beschreibt Multidimensionale Skalierung als

eine Familie von Verfahren, die Objekte des Forschungsinteresses durch Punkte eines mehrdimensionalen Raums (MDS-Lösung) so darstellen, dass die Distanz zwischen je zwei Punkten in diesem Raum einem gegebenen Nähe-, Abstands-, Ähnlichkeits-, oder Unähnlichkeitswert (Proximität) dieser Objekte so genau wie möglich entspricht. (S. 391)

Dabei können unterschiedlichste Funktionen als Proximitäten dienen. Dazu zählen zum Beispiel Korrelationen der Ausprägungen von Objekten, direkt erhobene Ähnlichkeitsratings von Objekten durch Personen aber auch sogenannte co-occurrence Koeffizienten (Borg, 2010) die messen, wie oft ein Ereignis zusammen

mit einem weiteren gemeinsam auftritt. Im Zuge dieser Arbeit dient schließlich die zeitliche Distanz von im Unterricht thematisierten Inhalten innerhalb des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts als Unähnlichkeitsmaß für die behandelten Inhalte. Je zeitlich weiter entfernt zwei Inhalte thematisiert wurden, desto unähnlicher sind sich diese.

Dargestellt werden die Ergebnisse von Multidimensionalen Skalierungen zumeist in einer zweidimensionalen Abbildung, in der die Objekte durch Punkte dargestellt werden, wie in Abbildung 39.



Abbildung 39: Beispiel einer MDS-Konfiguration.

Eingesetzt wird die MDS vor allem für die Exploration von Daten, da die Intention einer MDS letztlich nicht ist, bekannte Positionen/Beziehungen von Objekten zu rekonstruieren, sondern vielmehr unbekannte Positionen oder Beziehung zu finden (Backhaus, Erichson & Weiber, 2015). Das Ergebnis ist schließlich die Abbildung der relativen Positionen der Objekte zueinander in einer adäquaten Art und Weise. Eine derartige Abbildung wird als *Konfiguration* bezeichnet. Da es bei einer MDS eben um die relativen Positionen geht sind die resultierenden Konfigurationen zudem unabhängig von Rotationen und Spiegelungen.

Als eine Schwierigkeit in der Anwendung von MDS wird zumeist die Interpretation der Konfiguration gesehen, denn eine Interpretation der dargestellten Relationen in einer Konfiguration benötigt immer Sachkenntnis des untersuchten

Problems, denn die resultierenden Dimensionen müssen erst nach Erstellung der Konfiguration interpretiert werden (Backhaus et al., 2015).

7.4 Beschreibung und Pilotierungsergebnisse der Instrumente für Lehrkräfte Merkmale

In diesem Kapitel werden die im Rahmen dieser Dissertationsstudie eingesetzten Testinstrumente für die Erhebung der Lehrkräfte Merkmale beschrieben. In Abschnitt 7.4.1 wird genauer auf den eingesetzten schriftlichen Test zur Erfassung des TSPK der Lehrkräfte eingegangen. Da dieses Testinstrument vor diesem Projekt in dieser Form noch in keinem größeren Rahmen eingesetzt oder pilotiert wurde, werden auch die Ergebnisse der Pilotierung dargestellt. In Abschnitt 7.4.3 werden die eingesetzten Skalen zur Erfassung der relevanten Vor- und Einstellungen sowie Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen der Lehrkräfte und die Ergebnisse der Pilotierungsstudie beschrieben.

7.4.1 TSPK-Test

Die Beschreibung des Konstrukts TSPK als Teil des TPK&S-Modells (Gess-Newsome, 2015) wurde in Kapitel 2.2.1 angeführt. In Kapitel 6.2 wurde auf einer theoretischen Ebene verortet, welche Rolle das TSPK der Lehrkräfte innerhalb dieser Dissertationsstudie einnimmt. Dieses Kapitel widmet sich nun der konkreten Operationalisierung von TSPK zum Inhaltsbereich Elektrizitätslehre in der Form eines schriftlichen Testinstruments.

7.4.1.1 Beschreibung des Instruments

Um Aspekte des Topic Specific Professional Knowledge zur Anfangs-Elektrizitätslehre von Lehrkräften zu erheben, benötigt es ein Testinstrument, welches neben testtheoretischen Kriterien den drei in Kapitel 6.2 formulierten Kategorien genügt. Diese sind:

1. TSPK beinhaltet Wissen darüber, wie fachliche Inhalte für Lernprozesse strukturiert, dargestellt, erklärt und vernetzt werden.
2. TSPK umfasst Wissen zu einem spezifischen physikalisch-inhaltlichem Thema.

3. TSPK wird als kanonisches Wissen aufgefasst. Es ist Professionswissen, welches durch eine allgemeingültige Auffassung der Community beschrieben wird und durch best-practice-Beispiele und Forschungsergebnisse gebildet wird. Daher sollte die Vermittlung von TSPK auch Inhalt von Lehramtsausbildungen sein.

Ein Testinstrument, welches diesen Ansprüchen in Teilen genügt, wurde von Gramzow (2015) basierend auf Vorarbeiten (Riese, 2009) entwickelt. Dieses Testinstrument soll das Konstrukt des fachdidaktischen Wissens nach Gramzow, Riese und Reinhold (2013) messen. Die Entwicklung dieses Testinstruments erfolgte in zwei Stufen: Im ersten Schritt wurden mögliche Facetten des fachdidaktischen Wissens auf Literaturlbasis identifiziert, woraus das in Kapitel 2.1.1 dargestellte Modell zur inneren Struktur des fachdidaktischen Wissens von Physiklehrkräften resultierte (Riese et al., 2017). Im zweiten Schritt wurden vier der insgesamt acht Facetten zur Messung ausgewählt, wie in Abbildung 40 dargestellt.

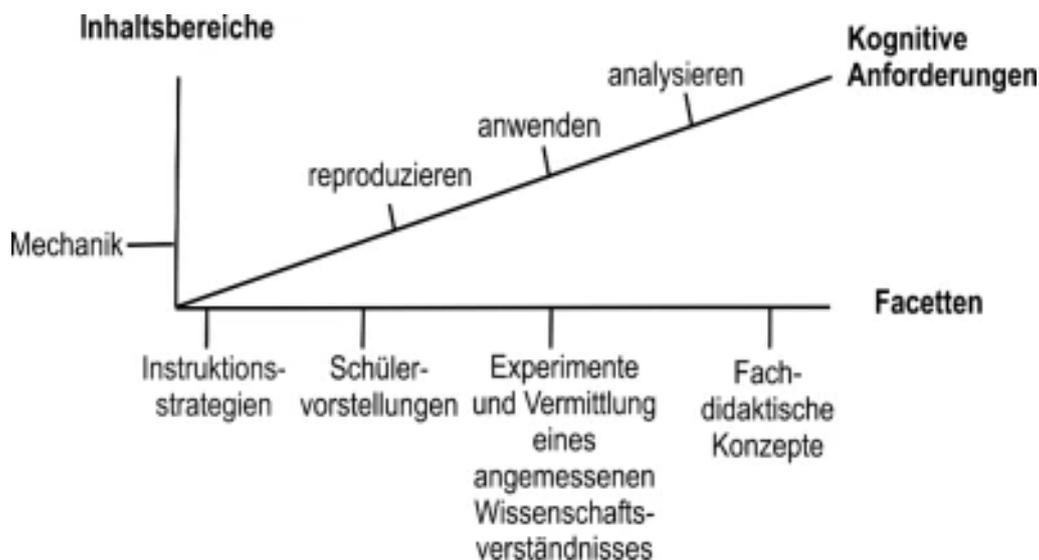


Abbildung 40: Itementwicklungsmodell des fachdidaktischen Wissens.
Quelle: Riese et al. (2017)

Bei diesen vier ausgewählten Facetten handelt es sich um Folgende:

- *Wissen über Instruktionsstrategien*
- *Wissen über Schülervorstellungen*
- *Wissen über Experimente und Vermittlung eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses*
- *Wissen über fachdidaktische Konzepte*

Für die konkrete Itementwicklung wurde zusätzlich die Dimension der kognitiven Anforderung betrachtet (vgl. Blömeke et al. 2008). In Anlehnung an Krathwohl und Anderson (2009) unterscheiden Riese et al. (2017) dabei die Anforderungen *Reproduzieren*, *Anwenden* und *Analysieren*, welche als Heuristik für Anforderungsklassen der Items, nicht jedoch in Hinblick auf die Bildung von Teilskalen verwendet wurden.

Die Items dieses von Gramzow (2015) (weiter-)entwickelten Testinstruments beziehen sich zum Teil auf den fachlichen Inhaltsbereich der Mechanik, andererseits enthält es Items, die sich keinem spezifischen physikalischen Inhaltsbereich zuordnen lassen (zum Beispiel allgemeine Fragen zur Funktion von Experimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht). Im Zuge der Dissertation von Gramzow wurde das Testinstrument unter anderem hinsichtlich seiner Konstrukt- und Inhaltsvalidität untersucht.

Um zu untersuchen, ob sich das fachdidaktische Wissen von Physiklehramtsstudierenden differentiell für unterschiedliche physikalische Inhaltsgebiete entwickelt, wurden daher von Joswig (das Testinstrument ist zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Arbeit noch nicht veröffentlicht, weshalb an dieser Stelle auf Joswig & Riese (2019) verwiesen wird) zu den Items mit Inhaltsbezug Mechanik strukturgleiche Items zu den physikalischen Inhaltsbereichen Elektrizität und Optik entwickelt. Strukturgleich bedeutet in diesem Zusammenhang, dass sich die Items nur durch den verwendeten fachlichen Inhaltsbezug (also Mechanik, Elektrizität oder Optik) im Itemstamm unterscheiden, sich jedoch in der Idee der Items sowie bezüglich dessen inhaltsunabhängiger, struktureller Verortung im Itementwicklungsmodell gleichen.

Da es sich um strukturgleiche Items handelt, in denen lediglich der adressierte Inhaltsbereich ausgetauscht wurde, konnten im Zusammenhang mit der Sammlung von Validitätsargumenten einige Argumente des ursprünglichen Tests übernommen werden (zum Beispiel die eindeutige Verortung im Itementwicklungsmodell). Daher wird im Folgenden darauf eingegangen, welche Facetten dieses Testinstruments sich für ein TSPK-Testinstrument für die hier beschriebene Studie eignen.

Durch die Beschreibung des Instruments in der Dissertation von Gramzow (2015) werden folgende Aspekte deutlich: Mit dem von Gramzow (2015) entwi-

ckelten und dem strukturgeleichen, jedoch für die Elektrizitätslehre transformierten, Testinstrument (Joswig & Riese, 2019) wird erhoben, wie fachliche Inhalte für Lernprozesse strukturiert, dargestellt, erklärt und vernetzt werden.

Durch die in ihrer Dissertation durchgeführte Analyse einer curricularen Passung des Testinstruments zur fachdidaktischen Ausbildung an deutschen Universitäten stellt Gramzow (2015) zudem sicher, dass mithilfe dieses Testinstruments letztlich kanonisches Wissen abgefragt wird, welches auch tatsächlich Inhalt der Lehramtsausbildung in Deutschland ist.

Schließlich gilt es für die Zwecke der hier vorliegenden Dissertation zu klären, inwiefern das Testinstrument zum fachdidaktischen Wissen von Gramzow (2015) die Forderung einer inhaltlichen Themenspezifität erfüllt. Die Betrachtung der Teilfacetten unter diesem Aspekt soll hier Aufschluss geben. Obwohl zweifelsohne auch Wissen über *fachdidaktische Konzepte* und *Experimente* relevante Facetten für die Gestaltung von Unterricht eines bestimmten physikalischen Inhalts darstellen, werden diese beiden letztgenannten Facetten für die Konstruktion des TSPK-Testinstruments nicht berücksichtigt, da diese beiden Facetten im Testinstrument von Gramzow (2015) keinen konkreten physikalischen Inhaltsbezug aufweisen.

Die beiden Facetten *Schülervorstellungen* und *Instruktionsstrategien* können sich (so wie diese in Gramzow (2015) operationalisiert wurden) nur auf einen konkreten physikalischen Inhalt, wie zum Beispiel Schülervorstellungen zur Stromverbrauchsvorstellung etc., beziehen.

Im Zuge der hier vorliegenden Dissertation werden daher Items der Facetten *Schülervorstellungen* und *Instruktionsstrategien* des Tests zum fachdidaktischen Wissen im Inhaltsbereich Elektrizitätslehre (Joswig & Riese, 2019) ausgewählt, welche als Facetten des TSPK von Lehrkräften zum Inhaltsbereich der Elektrizitätslehre aufgefasst werden. Diese beiden Facetten umfassen im Testinstrument von Joswig und Riese (2019) zwölf Items. Dieser Itempool wurde um neun Items erweitert, die großteils auf jenen von Ergönenc (2010) basieren, jedoch weiterentwickelt wurden. Inhaltlich sind diese zusätzlichen Items folgendermaßen aufgeteilt: vier Items zur Facette *Schülervorstellungen* und fünf Items zur Facette *Instruktionsstrategien*.

Die vier Items zu *Schülervorstellungen* wurden hinzugefügt, um eine möglichst große Bandbreite an typischen Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre im TSPK-Test abzudecken. ProbandInnen müssen im Zuge dieser vier Items in Anlehnung an die Beschreibung der Facette *Schülervorstellungen* von Gramzow (2015) einerseits Schülervorstellungen anhand von Schüleraussagen diagnostizieren und andererseits typische Schülerantworten zu Aufgabenstellungen basierend auf Schülervorstellungen prognostizieren.

Die fünf Items zu *Instruktionsstrategien* wurden hinzugefügt, um auch Wissen über Analogiemodelle (vier Items) sowie über für die Sekundarstufe I adäquate Definitionen elektrischer Spannung (ein Item) der ProbandInnen zu erheben. Im Zuge dieser Items sollen einerseits gängige Analogiemodelle in der Elektrizitätslehre beschrieben werden, andererseits sollen Darstellungen mit Analogiemodellen zum elektrischen Stromkreis aus fachdidaktischer Perspektive bewertet werden. Außerdem müssen die ProbandInnen unterschiedliche Elementarisierungen der elektrischen Spannung für den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht bewerten.

Das im Rahmen dieser Dissertation eingesetzte TSPK-Instrument besteht somit in der Erstfassung aus insgesamt 21 Items: zwei Multiple-Choice Items sowie 19 offenen Items. In Abbildung 41 ist exemplarisch ein Item zur Facette *Instruktionsstrategien* des von Joswig und Riese (2020) entwickelten Testinstruments dargestellt. In Abbildung 42 ist ein auf Basis des Testinstruments von Ergönenc (2010) adaptiertes Item zur Facette *Schülervorstellungen* dargestellt. Auf Basis dieser 21 Items wurde ein Gesamtscore für das TSPK der Lehrkräfte ermittelt.

AUFGABE 8

Ein Schüler äußert folgende Aussage:

„Wenn ich eine Lampe mit einer Batterie zum Leuchten bringen will, genügt es die Lampe und die Batterie mit einem Kabel zu verbinden.“

Man kann die Schüleraussage dann gut verstehen, wenn man dem Schüler unterstellt, dass er den Stromkreis aufgrund seiner Alltagserfahrungen nicht als geschlossenen Stromkreis versteht.

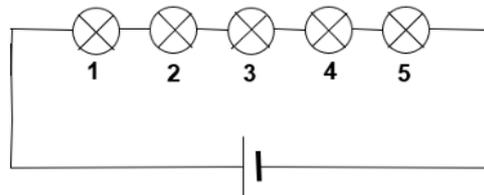
Sie gehen als Lehrperson auf diese falsche Aussage ein und wollen bei dem Schüler einen kognitiven Konflikt herbeiführen.

Wie würden Sie unter dieser Prämisse auf die Schüleraussage reagieren? Formulieren Sie in Stichworten.

Abbildung 41: Beispieltitem zur Facette Instruktionsstrategie aus dem von Joswig & Riese (2020) entwickelten Testinstrument.

Sie möchten mit Ihren Schülerinnen und Schülern das Thema „Stromstärke in Reihenschaltung“ besprechen. Der Begriff der Stromstärke ist den Schülerinnen und Schülern schon bekannt. Sie verwenden folgende Aufgabe für die Unterrichtsstunde:

Fünf gleiche Lampen werden in Reihe an eine Batterie angeschlossen.



Was kannst Du über die Helligkeit der fünf Lampen sagen?

Eine Schülerin antwortet auf die oben gestellte Aufgabe, dass die Helligkeit der Lampen von 1 bis 5 abnimmt.

Nennen Sie eine Begründung, die diese Schülerin für ihre Antwort geben könnte.



Ein anderer Schüler widerspricht und antwortet, dass Lampe 3 viel heller leuchtet als die Lampen 1, 2, 4 und 5.

Nennen Sie eine Begründung, die dieser Schüler für seine Antwort geben könnte.



Abbildung 42: Adaptiertes Beispieltitem zur Facette Schülervorstellungen basierend auf dem von Ergönenc (2010) entwickelten Testinstrument.

7.4.2 Pilotierung des TSPK-Tests

7.4.2.1 Beschreibung der Stichprobe

Die Pilotierung des soeben beschriebenen TSPK-Tests fand in zwei Etappen im Wintersemester 2017/18 sowie im Sommersemester 2018 in Österreich statt. Insgesamt umfasst die Stichprobe 148 Personen, nämlich Physiklehramtsstudierende ($N = 116$) zweier Universitätsstandorte in Österreich sowie UnterrichtspraktikantInnen mit Unterrichtsfach Physik ($N = 32$). Tabelle 10 zeigt die Stichprobenzusammensetzung der Pilotierung. Dargestellt sind die Anzahl der Personen nach Ausbildungsart² bzw. -stand, die Prozentzahl weiblicher Studierender, das durchschnittliche Alter sowie das durchschnittliche Fachsemester im Lehramtsstudium Physik.

Tabelle 10: Zusammensetzung der Stichprobe für die Pilotierung des TSPK-Testinstruments.

Ausbildung	N	Weiblich	Alter	Semester
Lehramt Diplom Uni A	40	32%	$24,7 \pm 2,9$	$9,3 \pm 1,8$
Lehramt Bachelor Uni A	32	37%	$22,4 \pm 2,5$	$4,2 \pm 0,6$
Lehramt Bachelor Uni B	44	34%	$25,3 \pm 5,6$	$7,4 \pm 2,6$
UnterrichtspraktikantInnen	32	25%	$28,3 \pm 4,2$	
Gesamt	148	33%		

7.4.2.2 Auswertung und Ergebnisse der Pilotierung

Die Auswertung des TSPK-Tests erfolgte anhand eines Kodiermanuals. Für die Items von Joswig und Riese (2019) wurde das bestehende Kodiermanual in Kooperation überarbeitet und geringfügig adaptiert. Für die restlichen Items wurde im Rahmen der Auswertung des ersten Erhebungszeitpunkts der Pilotierung ein Kodiermanual entwickelt und im Zuge des zweiten Erhebungszeitpunkts noch

² Im Zuge der letzten Jahre wurde die Lehramtsausbildung von einem fünfjährigen Diplomstudium auf ein Bachelor (4 Jahre) – Master (2 Jahre) System umgestellt.

einmal überarbeitet. Fünf der insgesamt 21 Items werden mit null oder eins bewertet, für die restlichen Items werden entweder null, ein oder zwei Punkte vergeben.

Basierend auf den derart ermittelten Rohdaten wurden in einem ersten Schritt die Item-Schwierigkeiten mittels eines eindimensionalen Partial-Credit Modells mit dem Paket *TAM* (Robitzsch et al., 2019) unter Verwendung eines Marginal-Maximum-Likelihood-Schätzers geschätzt. Die Personenfähigkeiten wurden anschließend mit einem Weighted-Likelihood-Schätzer (Warm, 1989) bestimmt. Anschließend wurden die Items einerseits hinsichtlich ihrer Fit-Werte ($0.8 < MnSQ_{Infit/Outfit} < 1.2$) sowie bezüglich eines Differential Item Functioning (Geschlecht, Median-Split) überprüft. Insgesamt mussten vier (der zusätzlichen neun) Items entfernt werden: Drei Items zeigten einen erhöhten Outfitwert, ein Item zeigte ein DIF bei einem Median-Split der Personenfähigkeiten. Insgesamt mussten somit drei Items in Bezug auf die Facette *Schülervorstellungen* entfernt werden, außerdem musste das Item zur Bewertung der Elementarisierung der elektrischen Spannung entfernt werden. In Kapitel 13.5.1 sind die Outfit- sowie Infit-Werte für die Items der finalen Version dargestellt. Um die Vergleichbarkeit für die Schätzung der Personenfähigkeiten der Lehrkräfte gewährleisten zu können, waren die für die Analyse der Pilotierung entfernten Items auch Teil des Erhebungsinstruments, welches für die Lehrkräfte eingesetzt wurde, diese Items fanden jedoch keinen Einzug in die Schätzung der Personenfähigkeiten der Physiklehrkräfte.

Basierend auf der finalen Schätzung des Testinstruments mit insgesamt 17 Items ergibt sich eine WLE-Personenreliabilität von .67. Diese Reliabilität kann immerhin noch als ausreichend bezeichnet werden und ist mit Reliabilitäten für PCK-Tests anderer Studien vergleichbar (Cauet, 2016; Ergönenc et al., 2014; Liepertz, 2017).

Abbildung 43 zeigt die aus der Pilotierung resultierende Wright-Map, welche die Itemschwierigkeiten und Personenfähigkeiten des finalen Testinstruments darstellt. Die schwarzen Vierecke geben die mittlere Itemschwierigkeit an, die roten Kreise die Itemschwierigkeit für einen Punkt auf ein Item, die grünen Kreise die Schwierigkeit für zwei Punkte auf das Item. Die Itemschwierigkeit für dichotome Items wird direkt anhand der schwarzen Vierecke dargestellt. Aus der Passung

zwischen der Verteilung der TSPK-Personenfähigkeit und den Itemschwierigkeiten des Testinstruments wird deutlich, dass das eingesetzte Testinstrument passend für die gewählte Stichprobe ist.

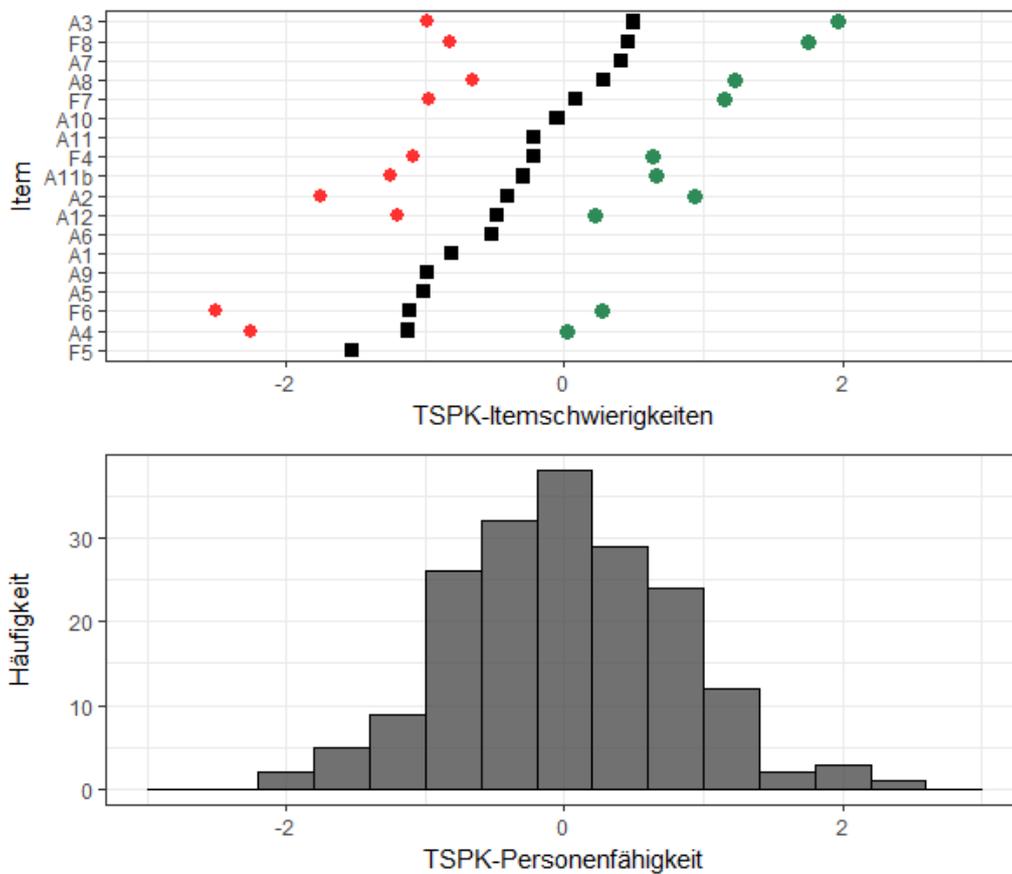


Abbildung 43: Wright-Map des TSPK-Tests. Im oberen Teil der Abbildung sind die Items mit ihrer Itemschwierigkeit abgebildet. Die schwarzen Vierecke geben die mittlere Itemschwierigkeit an, die roten Punkte die Itemschwierigkeit für einen Punkt auf ein Item, die grünen Punkte für zwei Punkte auf das Item. Der untere Graph zeigt die Verteilung der Personenfähigkeiten.

7.4.3 Beliefs und Selbstwirksamkeitserwartung

Im Zuge dieser Arbeit wird neben dem Zusammenhang des TSPK der Lehrkräfte zudem der Zusammenhang weiterer ausgewählter Lehrkräfte Merkmale mit der Entwicklung von Schülervariablen untersucht. Konkret sind dies (für eine Begründung der Auswahl siehe Kapitel 2.3 sowie Kapitel 6.3):

1. Epistemologische Vorstellungen der Lehrkräfte
2. Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen

Diese zwei Aspekte wurden anhand fünfstufiger Likert-Skalen erhoben und auch im Zuge der Pilotierung erprobt, um die Schätzung der Ausprägungen der Lehrkräfte mittels eines Rating-Scale Modells (Andersen, 1997) auf Basis der ermittelten Itemschwierigkeiten zu ermöglichen.

7.4.3.1 Epistemologische Vorstellungen

Die Skala zu den epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte wurde von Riese (2009) entwickelt und besteht aus insgesamt fünf Items. In Abbildung 45 ist die Wright-Map der Skala zu sehen, wobei ein höherer Logit-Wert (auf der x-Achse aufgetragen) einer eher rezeptiven Vorstellung über das Lernen und Lehren von Physik entspricht. Diese eingesetzte Skala bezieht sich dementsprechend nur auf ein sehr spezielles Teilkonstrukt der Beliefklasse epistemologische Vorstellungen. In Abbildung 44 ist ein beispielhaftes Item dieser Skala dargestellt.

	stimme gar nicht zu				stimme völlig zu
Im Physikunterricht muss die Lehrperson den Unterricht stärker steuern als im Sprachunterricht.	<input type="checkbox"/>				

Abbildung 44: Beispielitem der Skala epistemologische Vorstellungen. Quelle: Riese (2009)

In Kapitel 13.5.2 sind zudem die Infitwerte für die fünf Items dieser Skala ersichtlich. Item 2 weist einen leicht erhöhten Outfit- sowie auch Infitwert mit 1.25 bzw. 1.26 auf, für weitere Auswertungen wird das Item dennoch aufgrund der geringen Abweichung beibehalten, nicht zuletzt aufgrund der ohnehin bereits kurzen Skala. Für die WLE-Reliabilität der Skala ergibt sich ein Wert von .68 im Zuge der Schätzung der Gesamtstichprobe. Das kann als zufriedenstellender Wert gesehen werden, vor allem vor dem Hintergrund, dass die Skala nur aus fünf Items besteht und somit relativ kurz ist. In einer statistischen Überprüfung basierend auf einem Klassifikationsschema (Jang & Roussos, 2007; Zhang, 2007) zeigt sich eine hinreichende Eindimensionalität dieser Skala (DETECT < 0, siehe Zhang (2007) für Details).

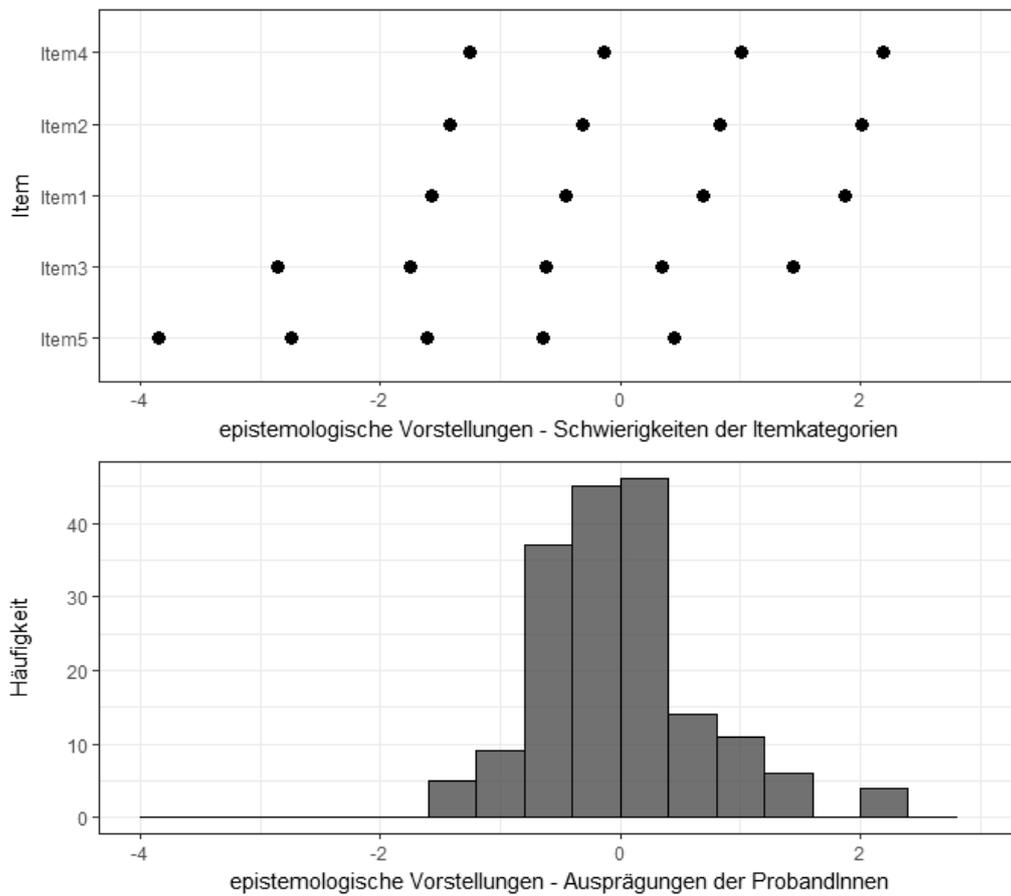


Abbildung 45: Wright-Map der Skala zu epistemologischen Vorstellungen. Die Punkte im oberen Teil der Abbildung stehen dabei von links nach rechts gelesen für die Itemschwierigkeiten der jeweiligen Antwortkategorien auf der Likert-Skala.

7.4.3.2 Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen

Die Skala zur Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen wurde von Meinhardt (2018) im Rahmen einer Dissertation entwickelt. In der hier vorliegenden Studie wird die entwickelte Kurzskala Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen, welche aus insgesamt sieben Items besteht, eingesetzt. Erhoben wurde wiederum mit einer fünfstufigen Likert-Skala, welche sowohl in der Pilotierung als auch in der Erhebung der Lehrkräftemerkmale eingesetzt wurde. In Abbildung 47 ist die resultierende Wright-Map zu sehen, wobei ein höher Logit-Wert auf der x-Achse einer höheren Selbstwirksamkeitserwartung entspricht. In Abbildung 46 ist exemplarisch ein Item dieser Skala dargestellt.

	stimme gar nicht zu				stimme völlig zu
Ich kann mit ergebnissen Schülervorstellungen im Physikunterricht inhaltlich weiterarbeiten, auch wenn sie nicht in meine ursprüngliche Planung passen.	<input type="checkbox"/>				

Abbildung 46: Beispielitem der Skala Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen. Quelle: Meinhardt, Rabe & Krey (2016)

Alle Items zeigen passende Outfit- sowie Infitwerte (siehe Kapitel 13.5.3) und werden somit für die Auswertung berücksichtigt. Für die Skala ergibt sich außerdem eine WLE-Personenreliabilität von .71 einen zufriedenstellenden Wert. In einer statistischen Überprüfung basierend auf einem Klassifikationsschema (Jang & Roussos, 2007; Zhang, 2007) zeigt sich eine hinreichende Eindimensionalität dieser Skala (DETECT < 0, siehe Zhang (2007) für Details).

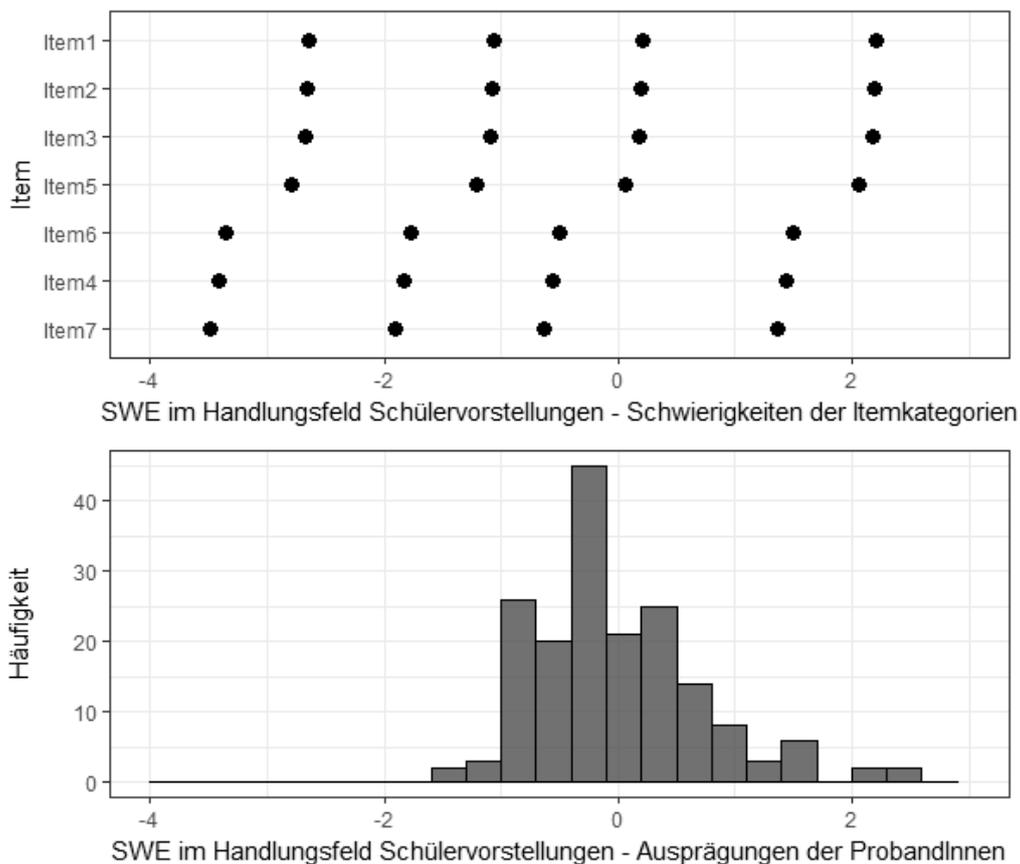


Abbildung 47: Wright-Map zur Skala Selbstwirksamkeitserwartungen im Handlungsfeld Schülervorstellungen. Die Punkte im oberen Teil der Abbildung stehen dabei von links nach rechts gelesen für die Itemschwierigkeiten der jeweiligen Antwortkategorien auf der Likert-Skala.

7.5 Erhobene Merkmale auf Schülerebene in der Hauptstudie

Da die Entwicklung des Fachwissens, Fachinteresses und physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen nicht im Zentrum dieser Dissertationsstudie stehen, sondern vielmehr deren Zusammenhänge mit ausgewählten Lehrkräfteresourcen, werden die relevanten Ergebnisse der Hauptstudie bereits in diesem Kapitel dargestellt. Kapitel 7.5.1 widmet sich dem Schülerfachwissenstest, in Kapitel 7.5.2 werden die beiden untersuchten affektiven Schülermerkmale Fachinteresse und physikbezogenes Selbstkonzept und deren Operationalisierung in dieser Dissertation beschrieben.

7.5.1 Schülerfachwissenstest

Der fachliche Lernerfolg wird in dieser Dissertationsstudie mithilfe eines Tests zum konzeptionellen Verständnis einfacher Stromkreise erhoben. Dieser Test basiert auf einem von Urban-Woldron & Hopf (2012) entwickelten zweistufigen Multiple-Choice-Test, welcher von Ivanjek et al. (2019) weiterentwickelt wurde, um auch konzeptuelles Wissen zum Konzept der elektrischen Spannung erheben zu können. Im Gegenteil zu einem einstufigen Testinstrument müssen die SchülerInnen eine Frage nicht nur beantworten, sondern in einem zweiten Schritt diese Antwort auch begründen. Auf jeder der beiden Stufen gibt es also nur einen richtigen Attraktor, wobei es sowohl für die Antworten als auch für die Begründungen mehrere Distraktoren gibt. Auf diese Weise ist es möglich, sogenannte falsch-positive Antworten (also richtige Antworten trotz einer falschen Begründung) zu identifizieren, womit die Möglichkeit eine Antwort zu erraten, drastisch reduziert wird.

Das für diese Studie eingesetzte Testinstrument besteht insgesamt aus 26 Items, die sich auf fünf unterschiedliche Konzepte beziehen. Diese fünf Konzepte sind:

1. Elektrische Spannung
2. Elektrische Stromstärke
3. Elektrischer Widerstand
4. Offener/geschlossener Stromkreis
5. Reihen- und Parallelschaltung

Eine detaillierte Beschreibung der Testentwicklung ist z. B. in Ivanjek et al. (2019) oder Morris et al. (2018) zu finden. Ein Beispielitem des Testinstruments ist in Abbildung 48 dargestellt.

Die 26 Items sind auf zwei Testhefte A und B verteilt, wobei die beiden Testhefte über 11 Items verankert sind, um vergleichbare Personenfähigkeiten der SchülerInnen schätzen zu können. Im Prä-Test wurden nur die 11 Ankeritems eingesetzt, im Post-Test wurden die beiden Testhefte A und B eingesetzt. Für jedes korrekt gelöste zweistufige Item (also die Angabe der richtigen Antwort und der richtigen Begründung) wurde ein Punkt vergeben. Da für die Schätzung der Personenfähigkeiten mittels Rasch-Modellen keine vollständigen Datensätze zwingend notwendig sind, wurden nicht behandelte Items als fehlende Werte behandelt und nicht für die Schätzung der Personenfähigkeiten miteinbezogen. Drei

Items, die nur im Post-Test eingesetzt wurden, wurden aufgrund eines zu hohen Outfitwertes bei einer gemeinsamen Schätzung der Prä- und Posttestwerte aus der Analyse ausgeschlossen (siehe Kapitel 13.5.4).

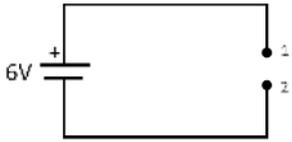
Item 2		Betrachte den Stromkreis.	
a)		Welche Spannung liegt zwischen den Punkten 1 und 2 an?	
A	<input type="checkbox"/>	Zwischen den Punkten 1 und 2 liegt keine Spannung an.	
B	<input type="checkbox"/>	Zwischen den Punkten 1 und 2 liegt eine Spannung von 6V an.	
C	<input type="checkbox"/>	Zwischen den Punkten 1 und 2 liegt eine Spannung zwischen 5,1 V und 5,9 V an.	
D	<input type="checkbox"/>	Zwischen den Punkten 1 und 2 liegt eine Spannung von 5 V an.	
b)		Warum? Wähle jene Aussage aus, die am besten zu deiner Begründung passt.	
A	<input type="checkbox"/>	Die Spannung nimmt mit zunehmendem Abstand zur Batterie ab.	
B	<input type="checkbox"/>	Der Innenwiderstand der Batterie ist nicht zu vernachlässigen.	
C	<input type="checkbox"/>	In einem offenen Stromkreis kann keine Spannung anliegen.	
D	<input type="checkbox"/>	Die Punkte 1 und 2 sind direkt mit den Polen der Batterie verbunden.	
E	<input type="checkbox"/>	In einem offenen Stromkreis ohne Widerstand kann keine Spannung anliegen.	

Abbildung 48: Beispielitem des Schülerfachwissenstests zu einfachen Stromkreisen.
Quelle: Morris et al. (2018)

Um tatsächliche Veränderungen in den Schülerleistungen messen zu können, müssen die über das Rasch-Modell geschätzten Personenfähigkeiten auf derselben Skala geschätzt werden. Es müssen also für beide Schätzungen die gleichen Itemschwierigkeiten für die elf verankerten Items vorliegen. Um die im Rasch-Modell geforderte, stochastische Unabhängigkeit der Beobachtungen zu gewährleisten (Hartig, Johannes, Kühnbach, Olga, 2006), wurde die Schätzung der Personenfähigkeiten daher in zwei Schritten vorgenommen:

Im ersten Schritt erfolgte die Skalierung der Post-Tests, um die Itemschwierigkeiten der elf Anker-Items festzustellen und festzulegen. Anschließend wurden in einem zweiten Schritt die Prä-Tests anhand der fixierten Itemschwierigkeiten geschätzt. Durch diese Fixierung kann es zu einer Über- oder Unterschätzung der Daten in Bezug auf das Modell kommen (Linacre, 2011). Für die Sicherstellung

der verankerten Itemschwierigkeiten wurden deshalb erhöhte Infit- und Outfitwerte (siehe Kapitel 13.5.4) und potenzielle Verletzungen einer Normalverteilung innerhalb einer Schulklasse (siehe Kapitel 13.2) in der Schätzung der Prä-Tests nicht berücksichtigt.

In Abbildung 49 ist die resultierende Wright-Map des konzeptuellen Tests zu einfachen Stromkreisen für die SchülerInnen-Stichprobe dieser Dissertation zu sehen. Der Abbildung ist zu entnehmen, dass der Test vor allem in der Prä-Testung als zu schwer einzuschätzen ist. Dieser Umstand ist aber aus physikalischer Perspektive nicht unerwartet: Die Anfangs-Elektrizitätslehre stellt einerseits ein schwieriges Themengebiet dar (Burde, 2018). Andererseits kann nicht erwartet werden, dass die SchülerInnen bereits fachlich angemessene Alltagserfahrungen zum Verhältnis der Konzepte Stromstärke, Spannung und Widerstand in einfachen Schaltungen haben. Es ist daher zu vermuten, dass die Lernenden zu diesen Aspekten noch keinerlei solides Wissen aufweisen und daher häufig raten mussten.

Durch die zweistufige Struktur des Testinstruments wird die Chance, eine Antwort zu erraten, drastisch reduziert, wodurch die in Abbildung 49 gezeigte Verteilung resultiert. Dieser Umstand bedingt auch eine WLE-Personenreliabilität von .48 für den Prä-Test, welche gerade noch als ausreichend bezeichnet werden kann, jedoch in Hinblick auf die soeben genannten Aspekte beurteilt werden muss. Für den Post-Test ergibt sich eine WLE-Personenreliabilität von .64, welche als zufriedenstellend bezeichnet werden kann (Lamberti, 2008). Aus Abbildung 49 ist jedoch ersichtlich, dass der Fachwissenstest auch nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht als schwierig für die SchülerInnen einzuschätzen ist – Items zum Konzept der elektrischen Spannung scheinen besonders schwierig. Tabelle 11 zeigt die deskriptiven Ergebnisse für die Leistungen der Lernenden im Prä- und Post-Test.

Tabelle 11: Deskriptive Statistik für den Fachwissenstest der Lernenden auf Schülerebene (N = 874). Die Zahlen sind in logits angegeben.

	M	SD	Min	Max
Prä-Test Fachwissen	-0.88	1.12	-3.21	1.74
Post-Test Fachwissen	-0.01	1.13	-3.33	3.64

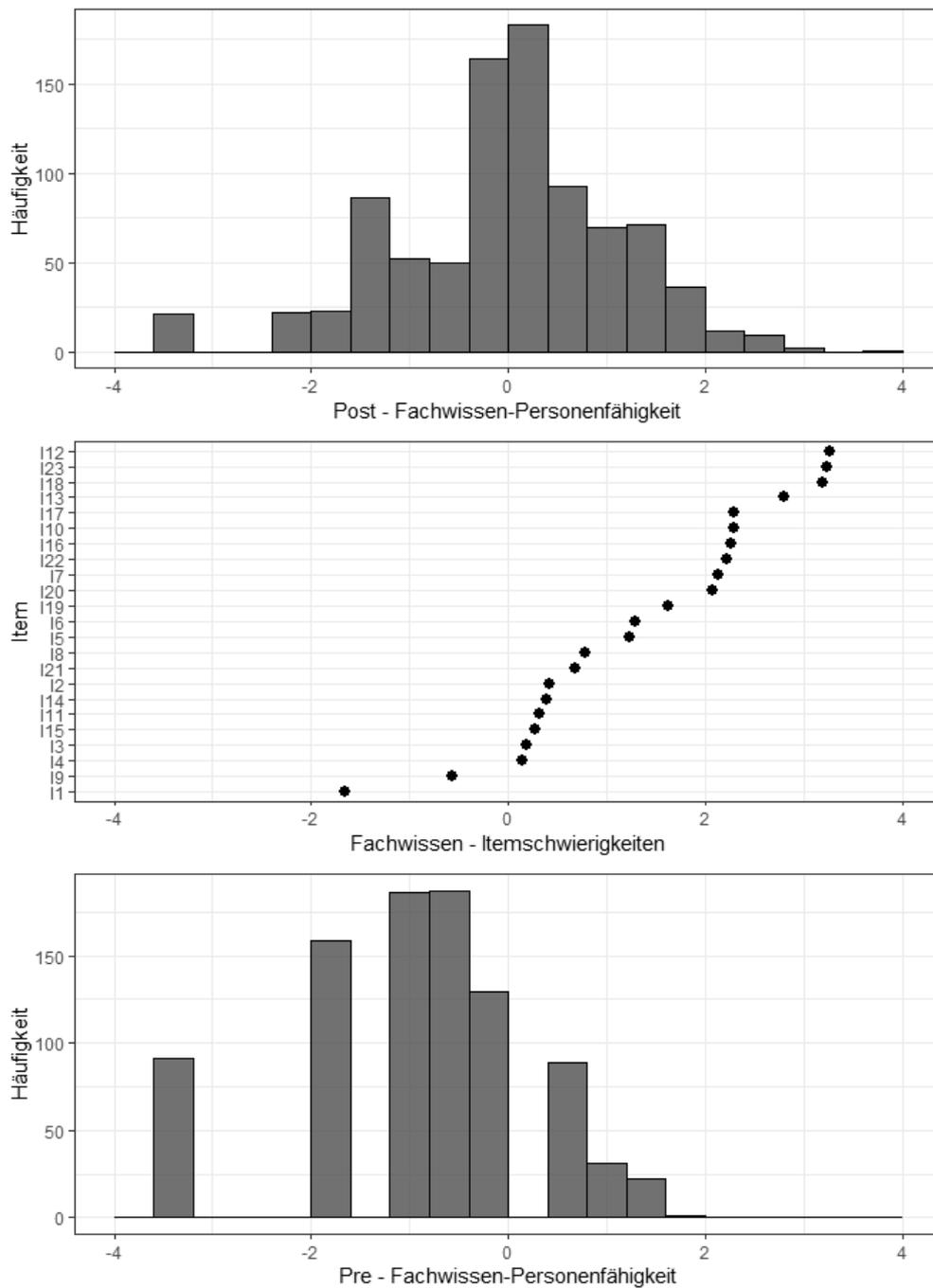


Abbildung 49: Wright-Map des konzeptuellen Tests zu einfachen Stromkreisen. Unten die Verteilung der Personenfähigkeiten im Prä-Test, oben im Post-Test.

7.5.2 Interesse und Selbstkonzept der SchülerInnen

In diesem Kapitel werden die eingesetzten Testinstrumente der untersuchten affektiven Schülermerkmale beschrieben. In Kapitel 7.5.2.1 erfolgt die Beschreibung des dieser Dissertation zugrundeliegenden Interessenskonstrukts sowie dessen Unterscheidung in Fach- und Sachinteresse. In Kapitel 7.5.2.2 wird das Testinstrument zur Erhebung des physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen beschrieben.

Das Fachinteresse sowie auch das Selbstkonzept der SchülerInnen wurde mithilfe eines Rating-Scale Modells (Andersen, 1997) geschätzt. Um sicherzugehen, dass sowohl das Interesse als auch das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä- und Posttest auf derselben Skala gemessen werden, wurden die Personenfähigkeiten mithilfe von virtuellen Personen geschätzt. Die Itemschwierigkeiten wurden also im Zuge einer gemeinsamen Schätzung der Prä- und Posthebungen bestimmt. Das andersartige Vorgehen im Vergleich zur Schätzung der Personenfähigkeiten des Fachwissenstests erklärt sich dadurch, dass bei Interesse und Selbstkonzept der SchülerInnen davon ausgegangen werden kann, dass diese auch schon vor dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht ausreichend strukturiert und individuell ausgeprägt sind.

7.5.2.1 Fachinteresse Physik

Als theoretische Basis des Interessenskonstrukts dient im Zuge dieser Dissertation die Person-Gegenstandstheorie von Krapp (2010). Dabei beschreibt Interesse die herausgehobene, subjektiv bedeutsam erlebte Beziehung zwischen einer Person und einem Gegenstand ihrer erfahrbaren Umwelt (Dopatka et al., 2018; Krapp, 2002). Es können dabei sowohl Fächer, abstrakte Ideen bis hin zu konkreten Dingen Objekte des Interesses sein. Individuelles Interesse wird dabei als Disposition verstanden, die durch die Veranlagung einer Person bestimmt wird. Dieser Person-Gegenstandsbeziehung kann nach Krapp (2010) sowohl eine emotionale als auch wertbezogene Valenz zugeordnet werden. Die emotionale Komponente bezieht sich dabei auf den emotionalen Zustand während der Auseinandersetzung mit einem bestimmten Gegenstand, wie zum Beispiel einem Lerngegenstand. Die subjektive Wertschätzung dieses Gegenstands bezeichnet dabei die wertbezogene Komponente.

Als weiteres Unterscheidungsmerkmal des Interessenskonstrukts gilt die Unterscheidung zwischen dem Fach- und dem Sachinteresse (Hoffmann et al., 1998). Hoffmann et al. unterscheiden damit das individuelle Interesse einer Person am Fach Physik sowie dem Interesse an Physik.

Im Zuge dieser Studie wird eine Skala zum Fachinteresse an Physik eingesetzt. Diese Skala setzt sich aus Items, die sich auf eine emotionale sowie auch wertbezogene Valenz beziehen, zusammen. Die Items der Skala bestehen zum Teil aus im Zuge des Gesamtprojekts EPo-EKo selbstentwickelten (Dopatka, Spatz,

Burde, Wilhelm, Schubatzky et al., 2020) sowie aus solchen der PISA-Studie (Frey et al., 2009) und sind in dieser Dissertationsstudie als fünfstufige, Likert skalierte Items operationalisiert. In Abbildung 50 ist ein exemplarisches Item dieser Skala dargestellt.

Im Physikunterricht wird deutlich, dass der heutige Lernstoff auch im Alltag wichtig ist. gar nicht völlig

Abbildung 50: Beispielitem der Skala Fachinteresse Physik.

Die Skala zum Fachinteresse Physik besteht insgesamt aus acht Items, in Abbildung 51 ist die dazugehörige Wright-Map dargestellt. Für die Skala zum Fachinteresse ergibt sich eine ausgezeichnete WLE-Personenreliabilität von .90, die Items zeigen zudem passende Fit-Werte (siehe Kapitel 13.5.5) und werden daher alle für die Schätzung der Personenfähigkeiten verwendet. Außerdem ist die Annahme einer Normalverteilung innerhalb aller Schulklassen dieser Stichprobe erfüllt (siehe Kapitel 13.3). Tabelle 12 zeigt die deskriptiven Ergebnisse für das Fachinteresse der Lernenden im Prä- und Post-Test.

Tabelle 12: Deskriptive Statistik für das Fachinteresse der Lernenden auf Schülerebene (N = 874), angegeben in logits.

	M	SD	Min	Max
Prä-Test Fachinteresse Physik	-0.01	1.49	-4.71	8.12
Post-Test Fachinteresse Physik	0.06	1.57	-4.71	8.12

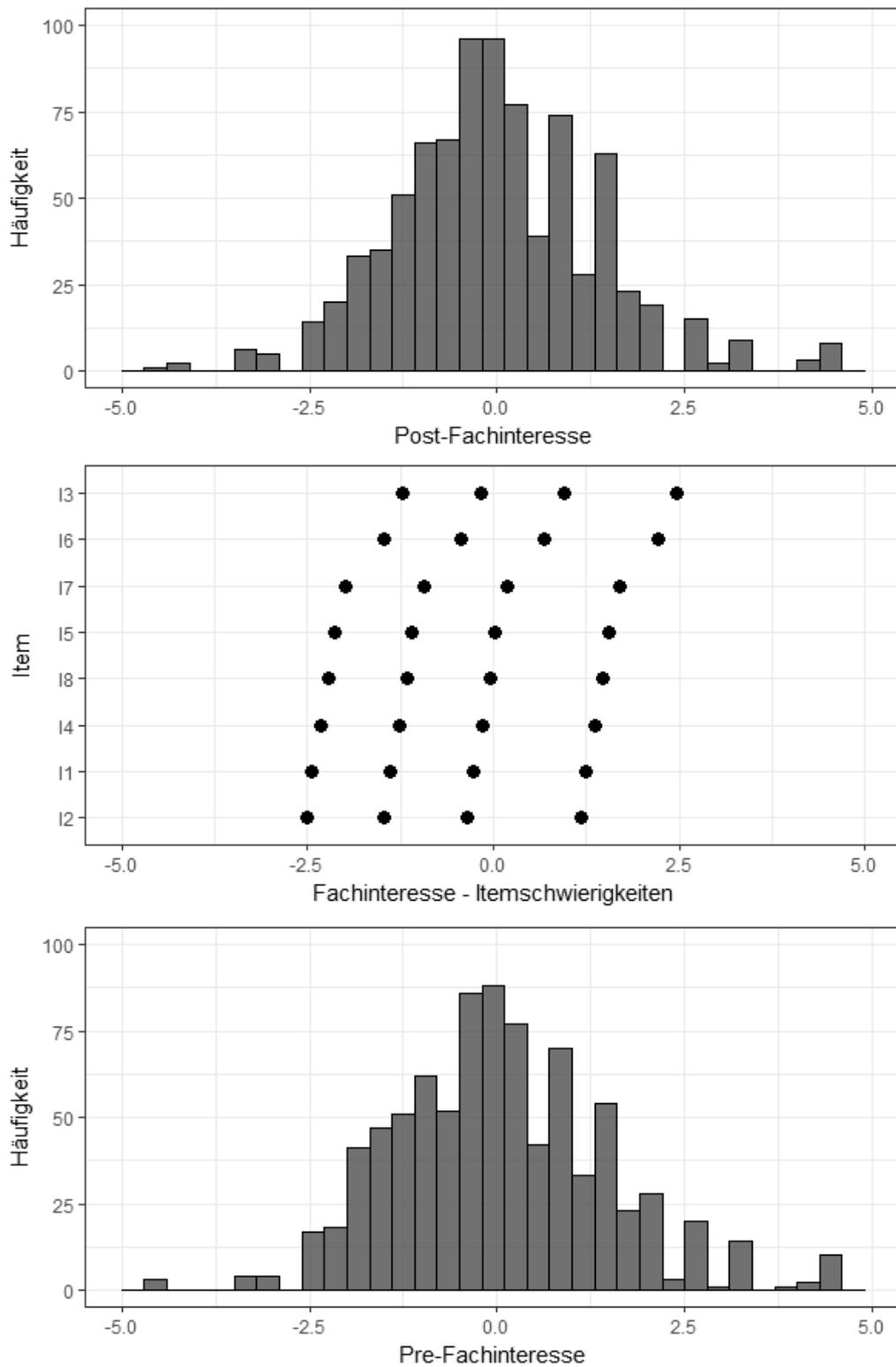


Abbildung 51: Wright-Map zur Skala Interesse am Fach Physik. Unten die Verteilung der Personenfähigkeiten im Prä-Test, oben im Post-Test.

Werte ausgeschlossen werden (siehe Kapitel 13.5.6). Außerdem ist die Annahme einer Normalverteilung innerhalb aller Schulklassen dieser Stichprobe erfüllt (siehe Kapitel 13.4). Tabelle 13 zeigt die deskriptiven Ergebnisse für das physikbezogene Selbstkonzept der Lernenden im Prä- und Post-Test.

Tabelle 13: Deskriptive Statistik für das physikbezogene Selbstkonzept der Lernenden auf Schülerebene ($N = 874$), angegeben in logits.

	M	SD	Min	Max
Prä-Test physikbezogenes Selbstkonzept	0.00	1.72	-4.89	8.35
Post-Test physikbezogenes Selbstkonzept	0.02	1.74	-5.97	8.35

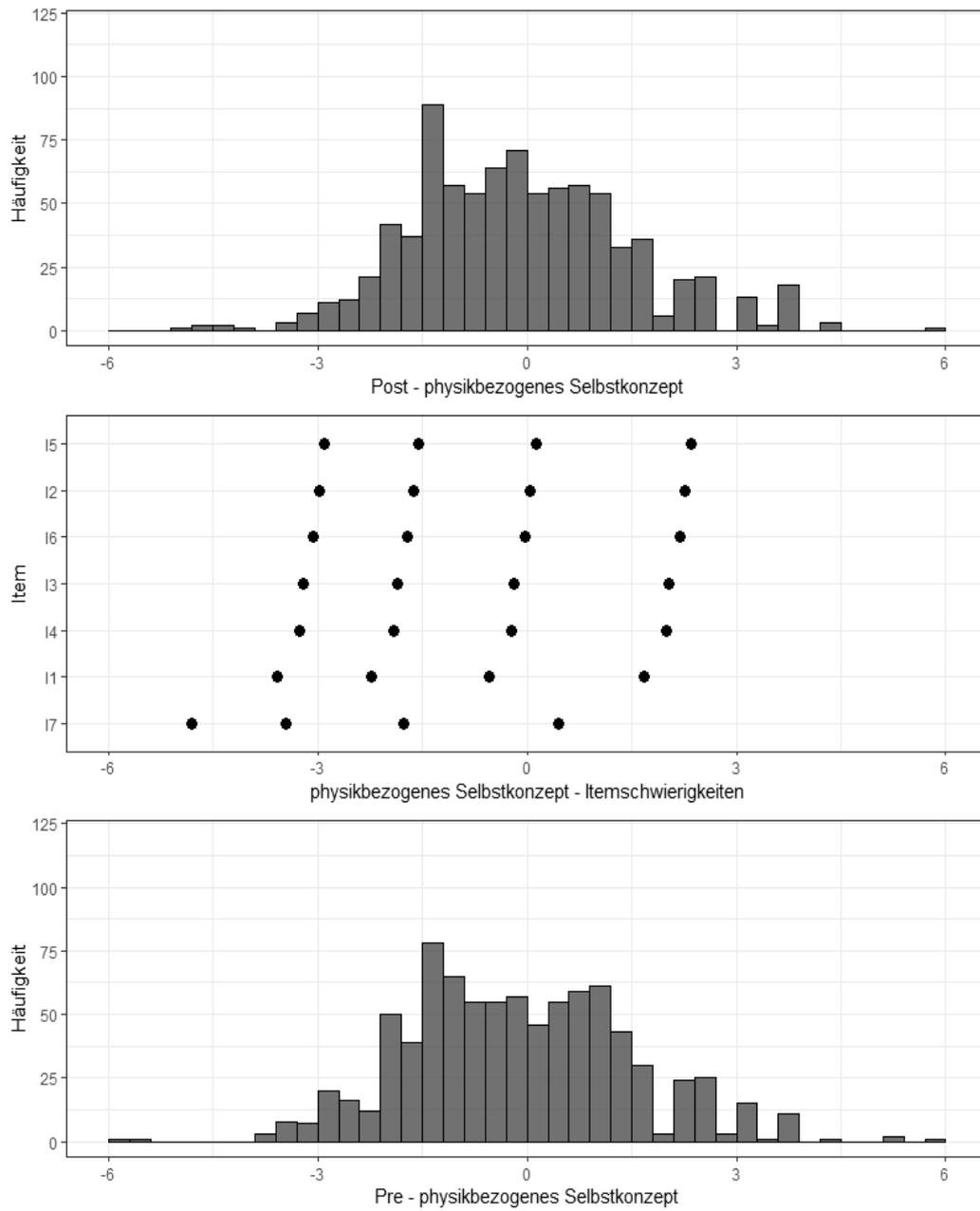


Abbildung 53: Wright-Map zur Skala physikbezogenes Selbstkonzept. Unten die Verteilung der Personenfähigkeiten im Prä-Test, oben im Post-Test.

7.5.3 Weitere Kontrollvariablen

Neben den eben beschriebenen Individualmerkmalen der SchülerInnen können zudem weitere Aspekte sowohl den fachlichen Lernerfolg als auch die Entwicklung affektiver Merkmale beeinflussen, wie im TPK&S-Modell (Gess-Newsome, 2015) oder in Angebots-Nutzungs-Modellen (Helmke, 2015) skizziert. Aus ökonomischen Gründen im Sinne des Studiendesigns muss jedoch eine Einschränkung aller potenzieller Einflussfaktoren getroffen werden. Einen potentiellen Einfluss stellen dabei kognitive Fähigkeiten der Lernenden dar (z. B. Weinert & Helmke, 1995), weshalb zwei Skalen des Berliner Intelligenzstrukturtests für Jugendliche (BIS-HB) (Jäger et al., 2008) eingesetzt wurden. Diese beiden Skalen beziehen sich auf das figurale (fünf Aufgaben) und verbale (zehn Aufgaben) Denkvermögen der SchülerInnen. Für die Bearbeitung der beiden Skalen standen insgesamt fünf Minuten der Prä-Erhebung zur Verfügung.

Außerdem wird vermutet, dass die Anzahl der Lerngelegenheiten einen Einfluss, vor allem auf die Entwicklung des fachlichen Lernerfolges, aufweist (Baker, Fabrega, Galindo & Mishook, 2004). Im Zuge dieser Dissertationsstudie wurde die Anzahl der Lerngelegenheiten über die Unterrichtsdauer operationalisiert. Als Datenbasis für die Unterrichtszeit dienten dabei die Unterrichtslogbücher, in welche die teilnehmenden Lehrkräfte die jeweiligen Unterrichtsstunden (Einzel- oder Doppelstunde) dokumentierten. Da Unterrichtsstunden in Bayern, Hessen und Österreich unterschiedlich lang sind (45 Minuten oder 50 Minuten), wurde die Anzahl der Unterrichtsstunden schließlich mit der Anzahl an Minuten multipliziert, um einen vergleichbaren Wert zu erhalten. Als weitere Kontrollvariable auf Schulklassenebene wurde das Dienstalter der Lehrkräfte aufgenommen.

Da es sich in dieser Dissertation um eine bi-nationale Studie handelt, wurde zusätzlich auch das Land, in dem die SchülerInnen unterrichtet wurden, als Kontrollvariable mitaufgenommen. Zudem wird auch das Geschlecht der SchülerInnen als Kontrollvariable erhoben.

7.6 Unterrichtslogbuch & Schülerhefte

Das zweite globale Forschungsinteresse dieser Arbeit widmet sich Elementen der Sachstruktur, die Lehrkräfte in ihrem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht umsetzen. Dabei soll beantwortet werden, welche Inhalte die teilnehmenden Lehrkräfte behandeln und in welcher Reihenfolge ausgewählte Inhalte thematisiert werden. Aufgrund der besonderen Relevanz von Analogiemodellen im Elektrizitätslehreunterricht soll außerdem untersucht werden, welche Analogiemodelle die Lehrkräfte des Samples einsetzen.

7.6.1 Beschreibung des Unterrichtslogbuchs

Das verwendete Unterrichtslogbuch wurde im Zuge dieser Dissertation neu entwickelt und ist in Abbildung 54 mit Beispieleinträgen dargestellt. Insgesamt wurden eine österreichische und eine deutsche Version des Logbuchs entwickelt, die sich jedoch nur in der Bezeichnung der Unterrichtsstunde (in Deutschland „Unterrichtseinheit“) unterscheiden. Das gesamte Logbuch ist im Anhang (Kapitel 13.1) angefügt. Der Fokus bei der Entwicklung des Unterrichtslogbuches lag einerseits darauf, die thematisierten Inhalte sowie eingesetzten Analogiemodelle valide erheben zu können, andererseits aber auch einen akzeptablen Zusatzaufwand für die teilnehmenden Lehrkräfte zu gewährleisten. Damit soll eine hohe Ausfüllquote der Lehrkräfte erreicht werden.

Für die Analysen im Zuge dieser Dissertation sind die beiden Kategorien *Schlüsselbegriffe der Stunde (thematisierte Inhalte)* sowie *eingesetzte Analogiemodelle* zentral und werden für die Analyse herangezogen. Für die Einträge in den Spalten gab es keine spezifischen Vorgaben, um den Lehrkräften beim Ausfüllen ihrer Logbücher möglichst große Freiräume einzuräumen, um ein möglichst umfangreiches Bild der umgesetzten Inhalte und deren Reihenfolge darstellen zu können. Außerdem liegen in Bezug auf thematisierte Inhalte im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht keinerlei empirische Ergebnisse vor, sodass vorab keine Annahmen darüber getroffen werden können, welche Inhalte die Lehrkräfte umsetzen werden. Zusätzlich wurden die Lehrkräfte gebeten, dem Autor ein anonymisiertes, möglichst repräsentatives Schülerheft in eingescannter Form zukommen zu lassen, um die Logbücher in einem Abgleich weiter zu validieren. Diese wurden von allen 32 Lehrkräften der Stichprobe dieser Dissertationsstudie eingesendet.

Datum	Einzelstunde (E) oder Doppelstunde (D)	Schlüsselbegriffe bzw. Inhalte der Unterrichtseinheit	Eingesetzte Modelle/Analogien (z.B. offener oder geschlossener Wasserkreislauf, Fahrradkette,...)	Demonstrationsexperiment eingesetzt (Stichwort)	Schülerexperiment eingesetzt (Stichwort)	Eingesetzte Kontexte, Anwendungsbezüge, Alltagsbeispiele	Aufzeichnungen im Schulheft gemacht	Besondere Vorkommnisse	Zusatzmaterial (Homepage,...)
23.10.17	E	Ohmsches Gesetz	Offener Wasserkreislauf		Schüler sollen U und I bei vorgegebenem R messen		Ja	Schulärztliche Untersuchung der Jungen	Leifi Physik
25.10.17	--II--	Reihenschaltung von Glühlämpchen	--II--	Reihenschaltung mit 2 und 3 Glühlämpchen		Lichterkette für Christbaum	Ja		

Abbildung 54: Das in dieser Dissertationsstudie eingesetzte Unterrichtslogbuch in der österreichischen Version (Die beiden Einträge sind erdachte Beispiele).

In Abbildung 55 sind beispielhaft zwei Seiten des Logbuches von zwei unterschiedlichen Lehrkräften dargestellt. Bereits aus der Gegenüberstellung dieser beiden Seiten wird deutlich, dass die Lehrkräfte sich in der Formulierung der Schlüsselbegriffe und -inhalte unterscheiden.

Datum	Einzelstunde (E) oder Doppelstunde (D)	Schlüsselbegriffe bzw. Inhalte der Unterrichtseinheit	Eingesetzte Modelle/Analogien (z.B. offener oder geschlossener Wasserkreislauf, Fahrradkette,...)	Demonstrationsexperiment eingesetzt (Stichwort)	Schülerexperiment eingesetzt (Stichwort)	Datum	Einzel- oder Doppelstunde	Schlüsselbegriffe bzw. Inhalte der Unterrichtseinheit	Eingesetzte Modelle/Analogien (z.B. offener oder geschlossener Wasserkreislauf, Fahrradkette,...)	Demonstrationsexperiment eingesetzt (Stichwort)	Schülerexperiment eingesetzt (Stichwort)
1.3.2018	E	VERGLEICH IN SERIEN- UND PARALLELSCHWELB	FADENKETTEN	2 STRIKKREISE → 1 HELLES 1 WENIGER HELLES LÄMPCHEN	/	26.01.18	D	Messung I Anzahl + Beziehung U + R ergibt		Null eines mehrfachen Lagers	Messung I
6.3.2018	E	MESSEN DER STROMSTÄRKE	/	/	STROMSTÄRKE MESSUNG V 3 VERSCH. LÄMPCHEN	13.03.18	D	Messung U in Reihe/Parallel schaltung Rechnen mit $I = \frac{U}{R}$	-	-	Messung U
8.3.2018	E	STROMSTÄRKE IN REIHE- & PARALLELSCHWELB	/	/	STROMSTÄRKE MESSUNG IN VERSCH. SCHWELBUNGEN	20.3.		Entfall vs. Wahrheit			

Abbildung 55: Beispielhafte Ausschnitte (abgebildet sind die ersten sechs Spalten) aus den Unterrichtslogbüchern zweier Lehrkräfte (LK4, LK 17).

7.6.2 Kategoriensystem für die Analyse der thematisierten Inhalte und eingesetzten Analogiemodelle

Um die Inhaltsblöcke der jeweiligen Unterrichtsstunden vergleichen zu können, wurde in einem mehrschrittigen Verfahren ein Kategoriensystem mittels qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2016) gebildet. In einem ersten Schritt wurden alle Blöcke der Kategorie *Schlüsselbegriffe und -inhalte* von der Zuordnung zu den jeweiligen Lehrkräften gelöst und digitalisiert. In einem zweiten Schritt wurde ein induktives Kategoriensystem für die Inhaltsblöcke gebildet, welches

die thematisierten Inhalte der Lehrkräfte vergleichbar machen soll. Für 95 % der von den Lehrkräften genannten Inhaltsblöcke des Unterrichts war eine Zuordnung zu diesem Kategoriensystem, welches in Tabelle 14 dargestellt ist, möglich. Für die nicht zuordenbaren oder eindeutigen Themenblöcke wurde eine Explikation anhand der eingescannten Schülerhefte durchgeführt. Ein Beispiel für die Notwendigkeit dieser Explikation ist die Bezeichnung „einfache Schaltungen“. Einige Lehrkräfte verstanden darunter Stromkreise, die sich lediglich aus einer Spannungsquelle, einem Elektrogerät und verbindenden Leitern zusammensetzen. Andere Lehrkräfte verstanden darunter neben dem einfachen Stromkreis auch UND- sowie ODER- Schaltungen, während ein weiterer Teil der Lehrkräfte auch Parallel- und Serienschaltungen von Elektrogeräten unter dem Begriff fassten. War also ein Inhaltsblock nicht ohne weiteres einer Kategorie zuordenbar, so wurde an der entsprechenden Stelle durch die Aufzeichnungen im Schülerheft expliziert, was die Lehrkraft mit diesem Begriff beschrieb. Die Explikation wurde anschließend dem Inhaltsblock als Anmerkung hinzugefügt. Für einen geringen Teil der Inhaltsblöcke (5) war trotz dieses Vorgehens keine konkrete Zuordnung zu einer Kategorie möglich, weshalb diese Blöcke aus der weiteren Analyse ausgeschlossen wurden.

Table 14: Kategoriensystem der thematisierten Inhalte im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht. Ankerbeispiele stellen prototypische Angaben der Lehrkräfte dar, die der jeweiligen Kategorie zugeordnet wurden. Als Ankerbeispiele wurden dabei repräsentative Einträge aus von Lehrkräften ausgefüllten Unterrichtslogbüchern gewählt. In der Spalte Ankerbeispiele werden unterschiedliche Beispiele mit „ \dots “ getrennt.

Kategorie	Beschreibung der Kategorie	Ankerbeispiel
Parallelschaltung	Parallelschaltung wird als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt.	Parallelschaltung / Parallelschaltung von Glühlampen
Serienschaltung	Serienschaltung wird als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt.	Serienschaltung / Serienschaltung von Glühlampen
Einfacher Stromkreis	Der einfache Stromkreis bzw. dessen Anschlussbedingungen werden explizit als Schlüsselidee genannt.	Einfacher Stromkreis / geschlossener Stromkreis
Wechselrichter	Wechselrichter wird als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt.	Wechselrichter / WECHSEL - Schaltung
Ohm'sches Gesetz	Der Zusammenhang $U = R \cdot I$ oder „Ohmsches Gesetz“ wird als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt.	Ohm'sches Gesetz / Zusammenhang R, U, I
Elektrische Spannung	Die elektrische Spannung wird zum ersten Mal explizit als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt. Eine reine Nennung der Spannung (also z.B. der Nennspannung einer Glühlampe) reicht nicht für eine Kodierung.	Spannung / Definition von Spannung
Elektrische Stromstärke	Die elektrische Stromstärke wird zum ersten Mal explizit als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt. Kodiert wird dann, wenn die elektrische Stromstärke als Größe thematisiert wird.	Stromstärke / elektrische Stromstärke
Wirkungen des elektrischen Stroms	Wirkungen des elektrischen Stroms werden explizit thematisiert. Dazu zählen sowohl Licht- und Warmwirkung als auch die magnetische Wirkung. Ist der Oersted-Versuch eine Schlüsselidee der Unterrichtsstunde, wird ebenso die Kategorie codiert.	Magnetische Wirkung der Elektrizität / magnetische Wirkung, Oersted / Wärme und Lichtwirkung
Elektrischer Widerstand	Der elektrische Widerstand wird zum ersten Mal explizit als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt. Kodiert wird dann, wenn der elektrische Widerstand als physikalische Größe thematisiert wird.	Elektrischer Widerstand / Widerstand als Größe
Elektrostatik	Elektrische Ladungen oder Inhalte der Elektrostatik werden als Schlüsselideen der Unterrichtsstunde genannt.	Reibungselektrizität / Anziehung und Abstoßung / Elektrostatik / Influenz / elektrische Ladungen
Modellvorstellung Strom	Eine mikroskopische Modellvorstellung von elektrischem Strom wird explizit als Schlüsselidee in der Unterrichtsstunde genannt.	Ladungsstrom als Strom / Strom als Bewegung von Ladungen / Modell eines metallischen Leiters
Leiter/Nichtleiter	Der Unterschied zwischen elektrischen Leitern und Nichtleitern wird als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt.	Leiter und Isolatoren / gute und schlechte Leiter / Leiter, Nichtleiter
Batterien und Akku	Der Aufbau von Batterien und Akkumulatoren wird als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt.	Galvanische Elemente / Zink-Kohle Element / Aufbau der Flachbatterie / Batterie und Akku / Batterie
Sicherheit und Gefahren	Sicherheit und Gefahren im Umgang mit Elektrizität werden als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt.	Sicherheit und Gefahren des elektrischen Stroms / Blitz und Gefahren des Stroms / Strom durch menschlichen Körper

Kategorie	Beschreibung der Kategorie	Ankerbeispiel
UND/ODER Schaltungen	UND/ODER Schaltungen werden als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt.	UND/ODER Schaltung / mehrere Schaltungen
Atomaufbau	Der Aufbau von Atomen bzw. die innere Struktur von Atomen auf Protonen/Neutronen/Elektronen – Ebene wurde als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt.	Aufbau der Stoffe / Aufbau der Atome / Atomaufbau
Schaltysymbole	Schaltysymbole oder Schaltzeichen elektrischer Schaltungen werden explizit als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt.	Schaltysymbole / Schaltplan / Schaltkreise zeichnen
Messgeräte	Die Funktionsweise und/oder richtige Bedienung von Messgeräten werden explizit als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt.	Das Multimeter im Stromkreis / Amperemeter / Voltmeter / Funktion von Multimeter
Elektrische Energie	Elektrische Energie wird als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt.	Elektrische Energie
Magnetismus	Magnetismus wird als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt.	Grundlagen Magnetismus / Magnetismus
Maschen/Knotenregel	Maschen- und/oder Knotenregel werden explizit als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt.	Knotenregel / Maschenregel / Knoten- und Maschenregel
Elektrische Leistung	Elektrische Leistung wird als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt.	Elektrische Leistung / elektrische Energie und Leistung
Schaltungen im Alltag	Elektrische Schaltungen im Alltag oder Haushalt werden als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt. Dies kann sowohl explizit als auch über die konkrete Nennung von Haushaltsschaltungen wie der Klingel sein.	Schaltungen aus dem Alltag / Schaltungen im Haushalt / Klingel
Gleichstrom und Wechselstrom	Gleich- und Wechselstrom werden als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde gemeinsam genannt.	Gleichstrom und Wechselstrom / Gleich- und Wechselspannung / Stromarten
Stromrichtung, Pole eines Generators	Der Unterschied zwischen technischer und physikalischer Stromrichtung wird als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt.	Stromrichtung / technische und physikalische Stromrichtung
Ein Tag ohne Elektrizität	Es wird explizit als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt, wie ein Tag ohne Elektrizität aussehen würde oder wie eine Welt ohne Elektrizität aussehen würde.	Start wozu Elektrizität / Elektrizität aus unserem Leben nicht wegzudenken / Welt ohne Elektrizität
Solarzelle und Piezoelemente	Solarzellen oder Piezoelemente werden als Schlüsselideen der Unterrichtsstunde genannt.	Solarzelle / Piezoelemente
Gemischte Schaltungen	Komplexe oder gemischte elektrische Schaltungen werden als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt.	Komplexe Schaltkreise / gemischte Schaltungen
Elektrisches Potenzial	Das elektrische Potenzial wird als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde genannt. Diese Kategorie wird auch kodiert, wenn das elektrische Potenzial anhand eines analogen Lernbereichs thematisiert wird.	Elektrisches Potenzial / Spannung als Potenzialdifferenz
U-1 Kennlinie	Die Aufnahme oder Thematisierung von U-1-Kennlinien werden explizit als Schlüsselidee der Unterrichtsstunde thematisiert.	U-1 Kennlinie Lampe / U-1 Kennlinie zeichnen / Auswertung Kennlinie Lampe

Im nächsten Schritt wurden die digitalisierten Unterrichtslogbücher der jeweiligen Lehrkräfte anhand des Kategoriensystems im Programm MaxQDA (VERBI Software, 2019) kodiert. Die Hälfte der Logbücher wurden zudem von einer zweiten Person anhand der Kategorienbeschreibungen kodiert, um die Objektivität sowie Reliabilität der Kodierung zu gewährleisten. Für die Kodierungen ergab sich als Übereinstimmungsmaß insgesamt ein Cohens Kappa von $\kappa = .82$, was als (fast) vollkommene Übereinstimmung betrachtet werden kann (Landis & Koch, 1977).

Derselbe Vorgang wurde ebenfalls für die *eingesetzten Analogiemodelle* durchgeführt. Insgesamt ergaben sich dabei 8 Kategorien unterschiedlicher Analogiemodelle, in Tabelle 15 ist eine Übersicht dargestellt.

Tabelle 15: Übersicht über Kategoriensystem der eingesetzten Analogiemodelle im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht.

Kategorie	Beschreibung des Analogiemodells
Wasserkreislauf	Kapitel 5.4.3 / 5.4.4
Aufgeteilter Verkehr/Menschen	Elektronenströme werden mit einem Strom von Menschen oder Autos verglichen.
Fahrradkette	Kapitel 5.4.1
Wassertanks	Die elektrische Spannung wird analog zu dem Höhenunterschied zwischen zwei Wassertanks dargestellt.
Rucksackmodell/Bienenmodell	Kapitel 5.4.5
Analogie zu Wärmetransport	Kapitel 5.4.6
Elektronengasmodell	Kapitel 5.4.7
Stäbchenmodell	Kapitel 5.4.2

7.6.3 Adaptierung der multidimensionalen Skalierung für die relationale Analyse der thematisierten Inhalte

Um schließlich Forschungsfrage 4 zu beantworten, wurden die kodierten thematisierten Inhalte mittels multidimensionaler Skalierung analysiert (siehe Kapitel 7.3.4), um die (chronologischen) Beziehungen der thematisierten Inhalte zu untersuchen. Als Maß für die Ähnlichkeit zweier Inhalte wurde dabei das gleich-

zeitige Auftreten dieser beiden Inhalte innerhalb eines definierten zeitlichen Abstands (gemessen in Unterrichtsstunden) aufgefasst. Um einen besseren Blick auf die zeitliche Ähnlichkeit der Inhalte zu erhalten, wurde als Ähnlichkeit die Thematisierung von Inhalten innerhalb eines Abstandes von zwei Unterrichtsstunden gewählt; zwei Inhalte gelten also als ähnlich, wenn diese nicht mehr als zwei Unterrichtsstunden voneinander getrennt im Unterricht thematisiert wurden. Das Distanzmaß $d=0$ etwa bedeutet für die Analyse, dass die Inhalte von allen Lehrkräften und in sämtlichen Fällen (also auch bei mehrfachem Auftreten innerhalb eines Logbuches) nicht mehr als zwei Unterrichtsstunden voneinander entfernt behandelt wurden. Je öfter diese in einem größeren zeitlichen Abstand voneinander thematisiert wurden, desto höher ist das resultierende Distanzmaß d .

Die multidimensionale Skalierung wurde insgesamt in zwei Schritten durchgeführt: In einem ersten Schritt wurde, basierend auf der Festlegung der Ähnlichkeit, eine Ähnlichkeitsmatrix mithilfe von MaxQDA bestimmt. Die Einträge dieser Matrix stellen die jeweilige Ähnlichkeit (also die Anzahl des gemeinsamen Vorkommens innerhalb von 2 Unterrichtsstunden) zwischen zwei Kategorien (das sind im konkreten Fall die betrachteten Inhaltsblöcke) dar. Auf Basis der resultierenden Ähnlichkeitsmatrix wird eine Distanzmatrix berechnet. Die Einträge dieser Distanzmatrix kommen folgendermaßen zustande:

1. In einem ersten Schritt werden die Spaltensummen für die jeweiligen Kategorien (Inhaltsblöcke) berechnet – es wird also ermittelt, wie häufig eine Kategorie als ähnlich zu einer weiteren Kategorie gezählt wurde (also wie häufig zwei Inhaltsblöcke als ähnlich gezählt wurden). Unter all diesen Spaltensummen wird schließlich das Maximum bestimmt, welches als Referenz für die maximal mögliche Ähnlichkeit (der Inhaltsblöcke) gesehen wird.
2. Im zweiten Schritt werden danach in jeder Zeile die Einträge der Ähnlichkeitsmatrix von dieser maximal möglichen Ähnlichkeit subtrahiert.

Auf Basis dieser Distanzmatrix werden schließlich die resultierende Konfiguration und damit die Koordinaten der jeweiligen Kategorien (Inhaltsblöcke) bestimmt und graphisch dargestellt. Auf Basis dieser Darstellung können die resultierenden Dimensionen auf Basis inhaltlicher Argumente interpretiert werden.

8 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse dieser Dissertationsstudie beschrieben. In Kapitel 8.1 werden die Ergebnisse der Mehrebenenanalysen dargestellt. Nach einer Beschreibung der deskriptiven Ergebnisse auf Lehrkräfteebene in Kapitel 8.1.1 werden in den folgenden Abschnitten bis zu Kapitel 8.1.3 sowohl die ausführliche Vorgehensweise bei der Analyse als auch die Ergebnisse der Mehrebenenanalyse in Bezug auf den fachlichen Lernerfolg im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht dargestellt (Forschungsfrage 1), Kapitel 8.1.4 widmet sich der Mehrebenenanalyse mit dem Fachinteresse der SchülerInnen als abhängige Variable (Forschungsfrage 2) und Kapitel 8.1.5 der Analyse mit dem physikbezogenen Selbstkonzept als abhängige Variable. In Kapitel 8.2 werden die Ergebnisse der Analyse sachstruktureller Elemente beschrieben.

Die Interpretation und Diskussion der in diesem Kapitel präsentierten Ergebnisse wird schließlich in Kapitel 9 vorgenommen.

8.1 Ergebnisse der Mehrebenenanalysen

In diesem Kapitel werden an erster Stelle (Kapitel 8.1.1) die relevanten deskriptiven Ergebnisse der erhobenen Lehrkräfte Merkmale vorgestellt. Außerdem werden auch Unterschiede im TSPK zwischen den Physiklehramtsstudierenden, den UnterrichtspraktikantInnen in Physik und den Physiklehrkräften berichtet (für die Beschreibung der Pilotierung siehe Kapitel 7.4.2). In Kapitel 8.1.2 und 8.1.3 werden die Ergebnisse zur Mehrebenenanalyse mit dem fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen als abhängige Variable vorgestellt, in Kapitel 8.1.4 wird auf die Analyse der Entwicklung des Fachinteresses eingegangen. Abschließend werden in Kapitel 8.1.5 die Ergebnisse der Mehrebenenanalyse zum physikbezogenen Selbstkonzept der SchülerInnen dargestellt. Für die Mehrebenenanalysen wurden wie in Kapitel 7.3.2 beschrieben die Individualmerkmale der SchülerInnen auf den Gesamtmittelwert über alle Klassen zentriert, es wurde also ein „Grand-Mean-Centering“ durchgeführt.

8.1.1 Deskriptive Ergebnisse

Zur Bestimmung des TSPK zur Anfangs-Elektrizitätslehre der Lehrkräfte wurde das in Kapitel 7.4.1 beschriebene Testinstrument verwendet. Die Personenfähigkeiten der Lehrkräfte ($N = 32$) wurden auf Basis der ermittelten Itemschwierigkeiten im Zuge der Pilotierungsstudie (siehe Kapitel 7.4.2) mithilfe eines Partial-Credit-Modells geschätzt. Es wurde auf Basis aller Items (die zwei Facetten zugeordnet wurden) eine jeweilige Gesamtpersonenfähigkeit der Lehrkräfte geschätzt, dabei ergab sich eine Personenreliabilität von .74. Die epistemologischen Vorstellungen (wie sie in Kapitel 7.4.3.1 operationalisiert wurden) sowie die Selbstwirksamkeit der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen (siehe Kapitel 7.4.3.2) wurden auf Basis der ermittelten Itemschwierigkeiten im Zuge der Pilotierungsstudie mithilfe von Rating-Scale-Modellen geschätzt, wobei sich WLE-Personenreliabilitäten von .68 (epistemologische Vorstellungen) und .73 (Selbstwirksamkeit im Handlungsfeld Schülervorstellungen) ergaben.

In Abbildung 56 ist die Verteilung der TSPK-Personenfähigkeiten der Lehrkräfte dargestellt. Im Zuge der Rasch-Schätzung ergab sich ein mittlerer Standardfehler der Personenfähigkeiten von $M_{SE} = 0.44$ ($SD = .05$, $Min = .41$, $Max = .75$). Ein Shapiro-Wilk Test (Razali & Wah, 2011) bestätigt das Vorliegen einer Normalverteilung innerhalb der Stichprobe der Lehrkräfte ($W = .99$, $p = 0.92$).

Im Zuge der Schätzung der Personenfähigkeiten der epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte ergab sich ein mittlerer Standardfehler von $M_{SE} = 0.54 \pm 0.04$, für die Schätzung der Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte ein Fehler von $M_{SE} = 0.51 \pm 0.11$. Shapiro-Wilk Tests bestätigen zudem sowohl für die epistemologischen Vorstellungen ($W = .97$, $p = 0.59$) als auch für die Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen ($W = .96$, $p = 0.50$) das Vorliegen einer Normalverteilung innerhalb der Stichprobe der Lehrkräfte.

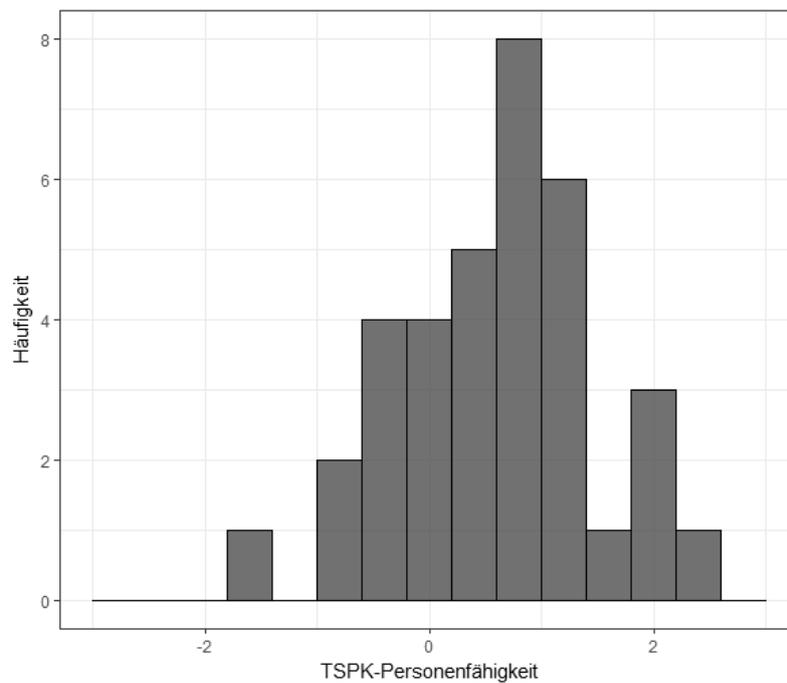


Abbildung 56: Verteilung der TSPK-Personenfähigkeiten der 32 Lehrkräfte.

In Tabelle 16 sind die deskriptiven Ergebnisse der Personenfähigkeiten im Vergleich zu den Physiklehramtsstudierenden sowie UnterrichtspraktikantInnen aus Physik dargestellt. Sowohl für die Studierenden als auch für die UnterrichtspraktikantInnen liegt eine Normalverteilung des TSPK vor. Um die Unterschiede im TSPK zwischen den drei Gruppen anhand einer ANOVA zu untersuchen, benötigt es jedoch Varianzhomogenität, welche laut einem Levene-Test nicht vorliegt ($F(2) = 3.23, p < .05$). Aus diesem Grund wird eine ANOVA mit Welch-Korrektur berechnet, um Unterschiede zwischen den drei Gruppen zu untersuchen (Field, Miles & Field, 2013). Wie bereits die deskriptiven Daten suggerieren unterscheiden sich zumindest zwei Gruppen signifikant voneinander ($F(2,54) = 10.31, p < 0.001$). Ein anschließender Games-Howell Test (Field et al., 2013) bestätigt, dass die Physiklehrkräfte ein höheres TSPK sowohl als die Physiklehramtsstudierenden ($t(45) = 4.51, p < .001$) als auch die UnterrichtspraktikantInnen ($t(64) = 3.53, p < .01$) aufweisen. Die Studierenden und UnterrichtspraktikantInnen unterscheiden sich nicht signifikant ($t(40) = 0.13, p = 0.99$).

Tabelle 16: Deskriptive Statistik für das TSPK der Lehrkräfte, Physiklehramtsstudierenden und UnterrichtspraktikantInnen in Physik.

	TSPK	SD	Min	Max
Lehrkräfte	0.59	0.90	-1.51	2.40
Lehramtsstudierende Physik	-0.14	0.64	-1.91	1.25
UnterrichtspraktikantInnen in Physik	-0.16	0.84	-2.03	1.65

Im nächsten Schritt wurden Korrelationen zwischen den erhobenen Lehrkräfte-merkmalen untersucht. In Tabelle 17 sind die Korrelationen zwischen den erhobenen Merkmalen für die 32 Lehrkräfte tabellarisch dargestellt.

Tabelle 17: Korrelationen zwischen den untersuchten Lehrkräftemerkmalen (N = 32). epVor steht dabei für epistemologische Vorstellungen, SWE für Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen. Die Angaben in den eckigen Klammern stellen die 95%-Konfidenzintervalle der Korrelationen dar. ** steht für $p < .01$.

Variable	TSPK	epVor	SWE	Dienstjahre
TSPK	1			
epVor	-.08 [-.42,.28]	1		
SWE	-.03 [-.38,.33]	-.10 [-.44,.26]	1	
Dienstjahre	-.48** [-.71,-.15]	.33 [-.03,.61]	.04 [-.31,.39]	1

Insgesamt lässt sich eine signifikante Korrelation feststellen. Die Facetten des TSPK der Lehrkräfte hängen signifikant negativ mit dem Dienstalter der Lehrkräfte zusammen ($r = -.48$, $KI_{95\%} = [-.71, -.15]$, $p < .01$).

Für die Beziehung zwischen den epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte und der Anzahl an Dienstjahren zeigt sich zwar keine signifikante Korrelation, eine vorsichtig formulierte Tendenz lässt sich jedoch erkennen ($r = .33$, $KI_{95\%} = [-.03, .61]$, $p = .07$). Aufgrund der relativ kleinen Stichprobe von 32

Lehrkräften können diese deskriptiven Ergebnisse jedoch nicht generalisiert werden und dürfen dementsprechend auch nicht überinterpretiert werden.

8.1.2 Individualprädiktoren für fachliche Leistungen im Post-Test

In diesem Kapitel sollen potenzielle Prädiktoren für den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht der teilnehmenden Schulen anhand von Mehrebenenmodellen zur Beantwortung von Forschungsfrage 1 untersucht werden. Anhand der formulierten Hypothesen wird untersucht, ob sich das TSPK der Lehrkräfte (*Wissen über Schülervorstellungen* und *Wissen über Instrukionsstrategien*), eine eher konstruktivistische Vorstellung vom Lernen und Lehren von Physik und die Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen als positive Prädiktoren für fachliche Leistungen herausstellen. Diese Mehrebenenmodellierung wird anhand der in Kapitel 7.3.2 beschriebenen Vorgehensweise durchgeführt. In diesem Kapitel wird die Herleitung des finalen Modells exemplarisch anhand des fachlichen Lernerfolgs ausführlich dargestellt, für die Analysen zum Fachinteresse sowie zum physikbezogenen Selbstkonzept der SchülerInnen werden lediglich die wichtigsten (Zwischen-) Modelle berichtet und gegenübergestellt.

Im ersten Schritt der Analyse der Fachwissensentwicklung der SchülerInnen soll mithilfe eines Null-Modells zunächst festgestellt werden, ob eine Mehrebenenanalyse für den vorliegenden Datensatz überhaupt notwendig ist. Dies gelingt über die Schätzung eines Random-Intercept-Only-Modells:

$$Y_{ij} = \gamma_{00} + u_{0j} + r_{ij} \quad (8)$$

Damit wird die Varianzaufteilung auf Schüler- sowie Klassenebene und damit die Intraklassenkorrelation (ICC) bestimmt. Die Varianz auf Individualebene der SchülerInnen (r_{ij}) beträgt $\sigma_{r_{ij}} = 1.12 \pm 0.16$. Die Abweichungen von der Regressionskonstanten als Varianz zwischen den Klassen (u_{0j}) beträgt $\sigma_{r_{ij}} = 0.16 \pm 0.40$. Gemäß Formel (4) (siehe Kapitel 7.3.2) ergibt sich somit ein Intraklassenkorrelationskoeffizient ρ von 0.127, es können also etwa 13 % der Gesamtvarianz auf Klassenebene aufgeklärt werden.

Um zu untersuchen, ob sich die Schätzung der Varianz auf Klassenebene signifikant von 0 unterscheidet, werden mithilfe eines Log-Likelihood-Ratio-Tests

zwei Modelle verglichen: Modell 1 lässt eine Variation der Regressionskonstanten zwischen den Klassen zu, Modell 0 nicht. Dabei zeigt sich, dass Modell 1 einen signifikant besser Fit aufweist ($\chi^2(1) = 51.71, p < .0001$). Es kann also von einer signifikanten Variation zwischen den Schulklassen ausgegangen werden.

Deshalb wird im nächsten Schritt mithilfe einer Step-Up-Strategie ein Random-Intercept Modell geschätzt, welches schließlich alle relevanten Ebene-1-Prädiktoren beinhalten soll. Die einzelnen Modelle werden in Anlehnung an Kuhn (2014) aufsteigend nummeriert (M1, M2, ...), wobei untersuchte Interaktionseffekte in der Modellbezeichnung mit einem Buchstaben gekennzeichnet werden (M1a, M1b, ...).

8.1.2.1 M1: Ergebnisse im Prä-Test zum fachlichen Wissen

Da das fachliche Vorwissen der SchülerInnen eine wesentliche Rolle spielt, wird in einem ersten Schritt das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen ($FW_{\text{prä}}$) als Kontrollvariable mitaufgenommen. Daraus resultiert M1, dargestellt in Tabelle 18. Die Modellgleichung für M1 lautet dementsprechend:

$$FW_{\text{prä}_{ij}} = \gamma_{00} + \gamma_{10}FW_{\text{prä}_{ij}} + u_{0j} + r_{ij} \quad (9)$$

Das Ergebnis im Prä-Test zeigt einen signifikant positiven Zusammenhang mit dem Ergebnis im Post-Test, außerdem weist das Modell M1 einen besseren Fit auf als das Null-Modell.

Tabelle 18: Vergleich des Null-Modells mit M1 zur Vorhersage der Leistungen im Post-Fachwissenstest. $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen.

Parameter	Null-Modell			M1		
	Schätzung	SE	p	Schätzung	SE	p
Ebene 1						
Intercept	-0.01	0.07	.858	-0.01	0.07	.857
$FW_{\text{prä}}$				0.29	0.03	.000
BIC	2633.80			2573.17		
$\chi^2(df), p$				$\chi^2(1) = 67.39, p < .0001$		

8.1.2.2 M2: physikbezogenes Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test

In vielen Studien konnte gezeigt werden, dass das Selbstkonzept einen Einfluss auf fachliches Lernen aufweist (z.B. Marsh & Yeung, 1997a, 1997b), weshalb das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test ($SK_{\text{prä}}$) als Lernvoraussetzung aufgenommen wird. Die Modellgleichung für M2 lautet somit:

$$FW_{\text{prä}_{ij}} = \gamma_{00} + \gamma_{FW}FW_{\text{prä}_{ij}} + \gamma_{SK}SK_{\text{prä}_{ij}} + u_{0j} + r_{ij} \quad (10)$$

In Tabelle 19 ist der Vergleich der beiden Modelle M1 und M2 dargestellt. M2 weist sowohl einen besseren BIC (Bayessche Informationskriterium, siehe Kapitel 7.3.2) als auch einen signifikant besseren Modellfit auf. Zudem stellt das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen vor dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht einen signifikant positiven Prädiktor für das Ergebnis im Post-Fachwissenstest dar.

Tabelle 19: Vergleich der Modelle M1 mit M2 zur Vorhersage der Leistungen im Post-Fachwissenstest. $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{\text{prä}}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test.

Parameter	M1			M2		
	Schätzung	SE	p	Schätzung	SE	p
Ebene 1						
Intercept	-0.01	0.07	.857	-0.01	0.06	.855
$FW_{\text{prä}}$	0.29	0.03	.000	0.27	0.03	.000
$SK_{\text{prä}}$				0.08	0.02	.001
BIC	2573.17			2566.42		
$\chi^2(df), p$				$\chi^2(5) = 13.52, p < .0001$		

8.1.2.3 M3: Figurales und verbales Denkvermögen der SchülerInnen

Als nächste Schritte werden das figurale sowie das verbale Denkvermögen der SchülerInnen aufgenommen. Das hinzufügen der Prädiktoren „figurales Denkvermögen (FDV)“ und „verbales Denkvermögen (VDV)“ führt zu einer signifikanten Verbesserung des Modellfits – unabhängig von der Reihenfolge, in der sie in das Modell aufgenommen werden. Der Übersicht halber wird in Tabelle 20 daher das Modell M2 nun mit dem Modell M3 verglichen, in dem sowohl das FDV als auch das VDV aufgenommen wurden.

Die Modellgleichung von M3 ergibt sich dadurch als:

$$\begin{aligned}
 FW_{\text{prä}_{ij}} = & \gamma_{00} + \gamma_{FW}FW_{\text{prä}_{ij}} + \gamma_{SK}SK_{\text{prä}_{ij}} + \gamma_{FDV}FDV_{ij} \\
 & + \gamma_{VDV}VDV_{ij} + u_{0j} + r_{ij}
 \end{aligned} \quad (11)$$

Tabelle 20: Vergleich des Modells M2 mit M3 zur Vorhersage der Leistungen im Post-Fachwissenstest. $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{\text{prä}}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test.

Parameter	M2			M3		
	Schätzung	SE	p	Schätzung	SE	p
Ebene 1						
Intercept	-0.01	0.06	.855	-0.01	0.06	.873
$FW_{\text{prä}}$	0.27	0.03	.000	0.22	0.03	.000
$SK_{\text{prä}}$	0.08	0.02	.001	0.06	0.02	.003
FDV				0.16	0.04	.000
VDV				0.13	0.04	.000
BIC	2566.42			2543.83		
$\chi^2(df), p$				$\chi^2(7) = 36.12, p < .0001$		

Das Modell 3 weist sowohl einen niedrigeren BIC als auch einen besseren Modellfit mittels Likelihood-Ratio-Test auf, es werden daher beide Variablen aufgenommen.

8.1.2.4 M4: Geschlecht der SchülerInnen

Im nächsten Schritt wurde das Geschlecht (Sex m/w) der SchülerInnen in das Modell aufgenommen, in Tabelle 21 wird das resultierende Modell M4 mit dem Modell M3 verglichen. Der Vergleich der Modelle M3 und M4 zeigt keinen signifikanten Unterschied im Modellfit, außerdem gibt es keinen signifikanten Zusammenhang des Geschlechts mit der Leistung im Post-Fachwissenstest.

Das Geschlecht der SchülerInnen wird dennoch aufgenommen, da es sich dabei um ein relevantes Merkmal handelt, weil es eine spätere Untersuchung von Interaktionseffekten zwischen Level-2-Variablen und dem Geschlecht der SchülerInnen ermöglicht. Die Interpretation des Intercepts ändert sich jedoch durch die Aufnahme eines dichotomen Prädiktors: Der Intercept beschreibt nun das Ergebnis im Post-Fachwissenstest eines männlichen Schülers mit durchschnittlichen Ergebnissen im Prä-Fachwissenstest, Selbstkonzept und in Bezug auf das figurale und verbale Denkvermögen.

Tabelle 21: Vergleich des Modells M3 mit M4 zur Vorhersage der Leistungen im Post-Fachwissenstest. $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{\text{prä}}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test.

Parameter	M3			M4		
	Schätzung	SE	p	Schätzung	SE	p
Ebene 1						
Intercept	-0.01	0.06	.873	-0.04	0.07	.598
$FW_{\text{prä}}$	0.22	0.03	.000	0.22	0.03	.000
$SK_{\text{prä}}$	0.06	0.02	.003	0.07	0.02	.003
FDV	0.16	0.04	.000	0.16	.004	.000
VDV	0.13	0.04	.000	0.13	.004	.000
Sex w				0.05	0.07	.466
BIC	2543.83			2550.057		
$\chi^2(df), p$				$\chi^2(8) = 0.54, p = .464$		

Die resultierende Modellgleichung für M4 ergibt sich dadurch als:

$$\begin{aligned}
 FW_{\text{prä}ij} = & \gamma_{00} + \gamma_{FW}FW_{\text{prä}ij} + \gamma_{SK}SK_{\text{prä}ij} + \gamma_{FDV}FDV_{ij} \\
 & + \gamma_{VDV}VDV_{ij} + \gamma_{Sex}Sex_{ij} + u_{0j} + r_{ij}
 \end{aligned} \quad (12)$$

8.1.2.5 M5: Fachinteresse Physik der SchülerInnen im Prä-Test

Auch dem Interesse an Physik wird ein positiver Einfluss auf das fachliche Lernen der SchülerInnen zugeschrieben (Eagly & Chaiken, 1993; Krapp, 2002), weshalb im nächsten Schritt die Aufnahme des Fachinteresses der SchülerInnen als Prädiktor modelliert wird.

Wie in Tabelle 22 in einem Vergleich zwischen dem Modell M4 und dem neuen Modell M5 dargestellt erwirkt die Aufnahme des Fachinteresses in der Prä-Erhebung keine signifikante Modellverbesserung, weshalb diese Variable für weitere Analysen nicht berücksichtigt wird.

Tabelle 22: Vergleich des Modells M4 mit M5 zur Vorhersage der Leistungen im Post-Fachwissenstest. $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{\text{prä}}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test. $FI_{\text{prä}}$ steht für das Fachinteresse Physik der SchülerInnen im Prä-Test.

Parameter	M4			M5		
	Schätzung	SE	p	Schätzung	SE	p
Ebene 1						
Intercept	-0.04	0.07	.598	-0.04	0.07	.590
$FW_{\text{prä}}$	0.22	0.03	.000	0.22	0.03	.000
$SK_{\text{prä}}$	0.07	0.02	.003	0.09	0.03	.002
FDV	0.16	.004	.000	0.16	0.004	.000
VDV	0.13	.004	.000	0.13	0.004	.000
Sex w	0.05	0.07	.466	0.05	0.07	.444
$FI_{\text{prä}}$				-0.04	0.03	.219
BIC	2550.057			2555.349		
	$\chi^2(1), p$			$\chi^2(9) = 1.47, p = .225$		

8.1.2.6 Random-Intercept-Modell der Ebene-1 Prädiktoren

Insgesamt stellt somit Modell M4 das Random-Intercept-Modell dar, welches alle in dieser Studie erhobenen und relevanten Ebene-1-Prädiktoren beinhaltet. In Abbildung 57 sind die Einflüsse der jeweiligen Prädiktoren noch einmal graphisch dargestellt. An dieser Stelle muss noch einmal betont werden, dass die geschätzten Parameter der Regressionssteigungen für die einzelnen Prädiktoren nicht direkt vergleichbar sind, da diese letztendlich eine Mischung aus der Steigung der Regression zwischen den Klassen sowie innerhalb der Klassen darstellen (Enders & Tofighi, 2007). Die graphische Darstellung dient dazu, festzustellen, welche Prädiktoren einen signifikanten Zusammenhang aufweisen, wie dieser ausgeprägt ist (negativ/positiv) und wie sich der Zusammenhang im Vergleich mehrerer Modelle verändert.

Abbildung 57 ist also wie folgt zu interpretieren: Auf der x-Achse sind die geschätzten Steigungsparameter der einzelnen Prädiktoren visualisiert, wobei zusätzlich der Standardfehler der Schätzungen mit Fehlerbalken (95 %-Konfidenzintervalle) dargestellt ist. Überschneiden sich diese Standardfehlerbalken der

Konfidenzintervalle und eine gedachte vertikale Linie durch den Nullpunkt der x-Achse nicht, so repräsentiert dieser Prädiktor einen signifikanten Zusammenhang.

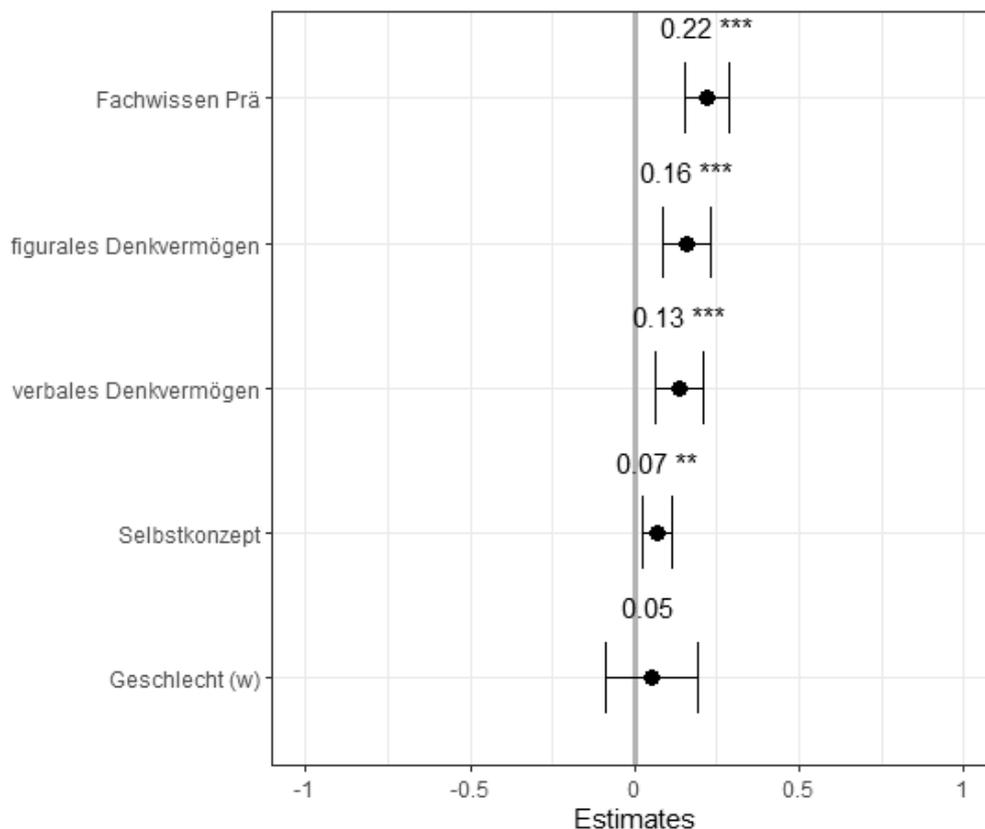


Abbildung 57: Darstellung der relevanten Ebene-1 Prädiktoren des Random-Intercept-Modells M4. Die Punkte stellen die Schätzungen der einzelnen Prädiktoren dar, die Fehlerbalken stellen die 95%-Konfidenzintervalle der Schätzungen dar.

Aus Abbildung 57 ist noch einmal erkennbar, dass alle Prädiktoren bis auf das Geschlecht einen positiven Zusammenhang mit dem Ergebnis im Post-Fachwissenstest aufweisen.

8.1.3 Prädiktoren auf Klassenebene für fachliche Leistungen im Post-Test

8.1.3.1 M6: Intercept-as-Outcome Modelle – Land (Ö/D)

Wie in Kapitel 7.3.2 dargestellt wird nun aufbauend auf dem Random-Intercept-Modell der Einfluss der erhobenen Ebene-2-Prädiktoren auf die individuellen Leistungen der SchülerInnen im Post-Fachwissenstest untersucht. In aktuellen internationalen Vergleichsstudien wie zum Beispiel PISA (OECD, 2019) schnei-

den österreichische und deutsche SchülerInnen signifikant unterschiedlich in Bezug auf naturwissenschaftliche Kompetenzen ab. Daher liegt die Vermutung nahe, dass auch in dieser Studie das Land, in dem der Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht stattgefunden hat, einen Zusammenhang mit dem Ergebnis im Post-Fachwissenstest zu Gunsten der deutschen SchülerInnen aufweist. Deshalb wird im Modell M6 der Ebene-2-Prädiktor „Land“ aufgenommen. In Tabelle 23 werden das RIM-Modell M4 und M6 verglichen.

Tabelle 23: Vergleich von M4 mit M6 unter Hinzufügen des Ebene-2-Prädiktors Land. $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{\text{prä}}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test.

Parameter	M4			M6		
	Schätzung	Std.SE	p	Schätzung	Std.SE	p
Ebene 1						
$FW_{\text{prä}}$	0.22	0.03	.000	0.22	0.03	.000
$SK_{\text{prä}}$	0.07	0.02	.003	0.07	0.02	.002
FDV	0.16	0.04	.000	0.15	0.04	.000
VDV	0.13	0.04	.000	0.13	0.04	.000
Sex w	0.05	0.07	.466	0.05	0.07	.446
Ebene 2						
Intercept	-0.04	0.07	.598	-0.12	0.09	.432
Land (D)				0.17	0.12	.180
BIC	2550.057			2554.981		
$\chi^2(df), p$				$\chi^2(9) = 1.84, p = .175$		

Modell M6 stellt keine Verschlechterung des Modellfits dar, weist jedoch auch keine signifikante Verbesserung auf, obwohl anhand der LogLikelihood-Werte eine Tendenz zu einer Modellverbesserung erkennbar ist. Aus diesem und den eingangs erwähnten theoretischen Begründungen (Ergebnisse von Vergleichsstudien) wird das Land als Kontrollvariable beibehalten.

Die aktuelle Modellgleichung von M6 ergibt sich dadurch als:

$$\begin{aligned}
 FW_{prä_{ij}} = & \gamma_{00} + \gamma_{FW}FW_{prä_{ij}} + \gamma_{SK}SK_{prä_{ij}} + \gamma_{FDV}FDV_{ij} \\
 & + \gamma_{VDV}VDV_{ij} + \gamma_{sex}Sex_{ij} + \gamma_{Land}Land_j + u_{0j} + r_{ij}
 \end{aligned} \quad (13)$$

8.1.3.2 M7: Unterrichtszeit

Im nächsten Schritt wird die Unterrichtszeit (Zeit), welche durch die Anzahl der unterrichteten Schulstunden multipliziert mit der jeweiligen standortspezifischen Schulstundenlänge in Minuten operationalisiert wurde, in den unterschiedlichen teilnehmenden Schulklassen als Variable aufgenommen. In Tabelle 24 ist der Vergleich zwischen Modell M6 und M7 dargestellt.

Die Aufnahme des Ebene-2-Prädiktors resultiert weder in einer Verbesserung des Modellfits anhand eines Likelihood-Ratio-Tests noch in einer Verringerung des BIC-Wertes und stellt zudem keinen signifikanten Prädiktor für den fachlichen Lernerfolg dar. Die Unterrichtszeit in Schulstunden war für die unterrichteten Schulklassen also offenbar nicht gleich der verfügbaren Lernzeit, z. B. durch sehr unterschiedliche kognitive Aktivierung der SchülerInnen im Unterricht. Diese Variable wird daher für weitere Analysen nicht berücksichtigt.

Tabelle 24: Vergleich von M6 mit M7 unter Hinzufügen des Ebene-2 Prädiktors Unterrichtszeit. $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{\text{prä}}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test.

Parameter	M6			M7		
	Schätzung	Std.SE	p	Schätzung	Std.SE	p
Ebene 1						
$FW_{\text{prä}}$	0.22	0.03	.000	0.22	0.03	.000
$SK_{\text{prä}}$	0.07	0.02	.002	0.07	0.02	.002
FDV	0.15	0.04	.000	0.15	0.04	.000
VDV	0.13	0.04	.000	0.13	0.04	.000
Sex w	0.05	0.07	.446	0.05	0.07	.446
Ebene 2						
Intercept	-0.12	0.09	.432	-0.11	0.28	.703
Land (D)	0.17	0.12	.180	0.17	0.12	.184
Zeit				0.00	0.00	.977
BIC	2554.981			2561.745		
$\chi^2(df), p$				$\chi^2(10) = 0.00, p = .977$		

8.1.3.3 M8: Dienstjahre der Lehrkräfte

Die nächste Variable, für welche unter Umständen kontrolliert werden muss, stellt die Anzahl der Dienstjahre der Lehrkräfte dar. Aus diesem Grund wurde im nächsten Modell M8 die Variable „Dienstjahre“ als Ebene-2-Prädiktor hinzugefügt. In Tabelle 25 ist der Vergleich zwischen den beiden Modellen dargestellt.

Tabelle 25: Vergleich von M6 mit M8 unter Hinzufügen des Ebene-2-Prädiktors Dienstjahre. $FW_{prä}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{prä}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test.

Parameter	M7			M9		
	Schätzung	Std.SE	p	Schätzung	Std.SE	p
Ebene 1						
$FW_{prä}$	0.22	0.03	.000	0.22	0.03	.000
$SK_{prä}$	0.07	0.02	.002	0.07	0.02	.002
FDV	0.15	0.04	.000	0.15	0.04	.000
VDV	0.13	0.04	.000	0.13	0.04	.000
Sex w	0.05	0.07	.446	0.05	0.07	.446
Ebene 2						
Intercept	-0.12	0.09	.432	-0.12	0.12	.312
Land (D)	0.17	0.12	.180	0.16	0.12	.186
Dienstjahre				0.00	0.01	.939
BIC	2554.981			2561.740		
$\chi^2(df), p$				$\chi^2(10) = 0.01, p = .938$		

Ebenso wie die Unterrichtszeit in Minuten weist auch die Anzahl der Dienstjahre der Lehrkräfte keinen signifikanten Zusammenhang mit dem fachlichen Lernerfolg im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht auf. Ebenso zeigt sich keine signifikante Modellverbesserung. Aufgrund der deskriptiven Ergebnisse (siehe Kapitel 8.1.1), im speziellen aufgrund der aufgetretenen (schwachen) Korrelation zwischen dem TSPK der Lehrkräfte und der Anzahl der Dienstjahre, wird diese Ebene-2-Variable dennoch in das Modell aufgenommen.

Die neue Modellgleichung von Modell M8 lässt sich somit folgendermaßen anschreiben, wobei DJ für Dienstjahre steht:

$$\begin{aligned}
 FW_{post_{ij}} = & \gamma_{00} + \gamma_{FW}FW_{prä_{ij}} + \gamma_{SK}SK_{prä_{ij}} + \gamma_{FDV}FDV_{ij} \\
 & + \gamma_{VDV}VDV_{ij} + \gamma_{Sex}Sex_{ij} + \gamma_{Land}Land_{.j} + \gamma_{DJ}DJ_{.j} + u_{0j} + r_{ij}
 \end{aligned} \quad (14)$$

In den folgenden Schritten werden die Ebene-2-Prädiktoren in das Modell aufgenommen, anhand derer Forschungsfrage 1 (siehe Kapitel 6.3.1) beantwortet werden soll.

8.1.3.4 Selbstwirksamkeit der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen

Zuerst wird die Selbstwirksamkeit der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen in das Modell M9 aufgenommen. In Tabelle 26 sind die Modelle M8 und M9 gegenübergestellt. In der Betrachtung zeigt sich, dass die Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen keinen signifikanten Prädiktor für den fachlichen Lernerfolg darstellt. Gleichsam zeigt sich keine signifikante Modellverbesserung. Diese Variable wird für weitere Betrachtungen daher nicht berücksichtigt.

Tabelle 26: Vergleich von M8 mit M9 unter Hinzufügen des Ebene-2-Prädiktors Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen (SWE). $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{\text{prä}}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test.

Parameter	M8			M9		
	Schätzung	Std.SE	p	Schätzung	Std.SE	p
Ebene 1						
$FW_{\text{prä}}$	0.22	0.03	.000	0.22	0.03	.000
$SK_{\text{prä}}$	0.07	0.02	.002	0.07	0.02	.002
FDV	0.15	0.04	.000	0.15	0.04	.000
VDV	0.13	0.04	.000	0.13	0.04	.000
Sex w	0.05	0.07	.446	0.06	0.07	.428
Ebene 2						
Intercept	-0.12	0.12	.312	-0.13	0.12	.287
Land (D)	0.16	0.12	.186	0.17	0.12	.171
Dienstjahre	0.00	0.01	.939	0.00	0.01	.907
SWE				-0.04	0.07	.577
BIC	2561.740			2568.187		
$\chi^2(df), p$				$\chi^2(11) = 0.32, p = .572$		

8.1.3.5 Epistemologische Vorstellungen der Lehrkräfte

Im nächsten Schritt werden die epistemologischen Vorstellungen (epVor) der Lehrkräfte (so wie sie anhand der Skala erhoben wurden) in das Modell M10 aufgenommen. In Tabelle 27 sind die Modelle M8 und M10 gegenübergestellt. Es werden mehrere Aspekte ersichtlich: Obwohl die Aufnahme der epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte keine signifikante Verbesserung des Modellfits darstellt, ist anhand der Log-Likelihood-Funktion dennoch ein Trend in Richtung Verbesserung des Modellfits erkennbar. Dieser Trend wird zudem durch die Schätzung des Steigungsparameters unterstützt. So liegt der Steigungsparameter für die Variable epVor laut einem 95 %-Konfidenzintervall im Bereich zwischen -0.04 und 0.30. Aus diesem Grund wird diese Variable für weitere Betrachtungen im Modell belassen, um zu untersuchen, ob sich dieser Zusammenhang bei Aufnahme des TSPK der Lehrkräfte ändert. Für die Modellgleichung ergibt sich daher:

$$\begin{aligned}
 FW_{post_{ij}} = & \gamma_{00} + \gamma_{FW}FW_{prä_{ij}} + \gamma_{SK}SK_{prä_{ij}} + \gamma_{FDV}FDV_{ij} \quad (15) \\
 & + \gamma_{VDV}VDV_{ij} + \gamma_{Sex}Sex_{ij} \\
 & + \gamma_{Land}Land_{.j} + \gamma_{epVor}epVor_{.j} + \gamma_{DJ}DJ_{.j} + u_{0j} + r_{ij}
 \end{aligned}$$

Tabelle 27: Vergleich von M8 mit M10 unter Hinzufügen des Ebene-2 Prädiktors epistemologische Vorstellungen (epVor). $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{\text{prä}}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test.

Parameter	M8			M9		
	Schätzung	Std.SE	p	Schätzung	Std.SE	p
Ebene 1						
$FW_{\text{prä}}$	0.22	0.03	.000	0.22	0.03	.000
$SK_{\text{prä}}$	0.07	0.02	.002	0.08	0.02	.001
FDV	0.15	0.04	.000	0.15	0.04	.000
VDV	0.13	0.04	.000	0.13	0.04	.000
Sex w	0.05	0.07	.446	0.05	0.07	.442
Ebene 2						
Intercept	-0.12	0.12	.312	-0.11	0.09	.234
Land (D)	0.16	0.12	.186	0.14	0.12	.232
Dienstjahre	0.00	0.01	.939	0.00	0.01	.739
epVor				0.13	0.08	0.136
BIC	2561.740			2566.244		
$\chi^2(df), p$				$\chi^2(11) = 2.26, p = .133$		

8.1.3.6 TSPK der Lehrkräfte

Als letzter Ebene-2-Prädiktor wird schließlich das Topic Specific Professional Knowledge (TSPK) zur Anfangs-Elektrizitätslehre der Lehrkräfte in das Modell aufgenommen. In Tabelle 28 sind das Modell M10 und das neue Modell M11 gegenübergestellt.

Tabelle 28: Vergleich von M10 mit M11 unter Hinzufügen des Ebene-2-Prädiktors TSPK. $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{\text{prä}}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test, epVor für die epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte.

Parameter	M10			M11		
	Schätzung	Std.SE	p	Schätzung	Std.SE	p
Ebene 1						
$FW_{\text{prä}}$	0.22	0.03	.000	0.21	0.03	.000
$SK_{\text{prä}}$	0.08	0.02	.001	0.08	0.02	.001
FDV	0.15	0.04	.000	0.15	0.04	.000
VDV	0.13	0.04	.000	0.13	0.04	.000
Sex w	0.05	0.07	.442	0.05	0.07	.492
Ebene 2						
Intercept	-0.11	0.09	.234	-0.08	0.12	.484
Land (D)	0.14	0.12	.232	0.10	0.12	.401
Dienstjahre	0.00	0.01	.739	0.00	0.01	.997
epVor	0.13	0.08	0.136	0.14	0.08	.110
TSPK				0.09	0.08	.253
BIC	2562.244			2571.664		
$\chi^2(df), p$				$\chi^2(12) = 1.35, p = .246$		

Wie in Tabelle 28 ersichtlich führt die Aufnahme des Ebene-2-Prädiktors TSPK zu keiner signifikanten Modellverbesserung anhand des Likelihood-Ratio-Tests, außerdem stellt das TSPK der Lehrkräfte in diesem Modell keinen signifikanten Prädiktor für den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen dar. Zur Übersicht wird an dieser Stelle noch einmal das Modell 11 graphisch dargestellt, siehe Abbildung 58. Die Zahlen in Klammer hinter den jeweiligen Prädiktoren zeigen dabei an, auf welcher Ebene dieser Prädiktor wirkt.

Als Modellgleichung für M11 ergibt sich:

$$\begin{aligned}
 FW_{post_{ij}} = & \gamma_{00} + \gamma_{FW}FW_{prä_{ij}} + \gamma_{SK}SK_{prä_{ij}} + \gamma_{FDV}FDV_{ij} \quad (16) \\
 & + \gamma_{VDV}VDV_{ij} + \gamma_{Sex}Sex_{ij} \\
 & + \gamma_{Land}Land_{.j} + \gamma_{epVor}epVor_{.j} + \gamma_{DJ}DJ_{.j} + \gamma_{TSPK}TSPK_{.j} \\
 & + u_{0j} + r_{ij}
 \end{aligned}$$

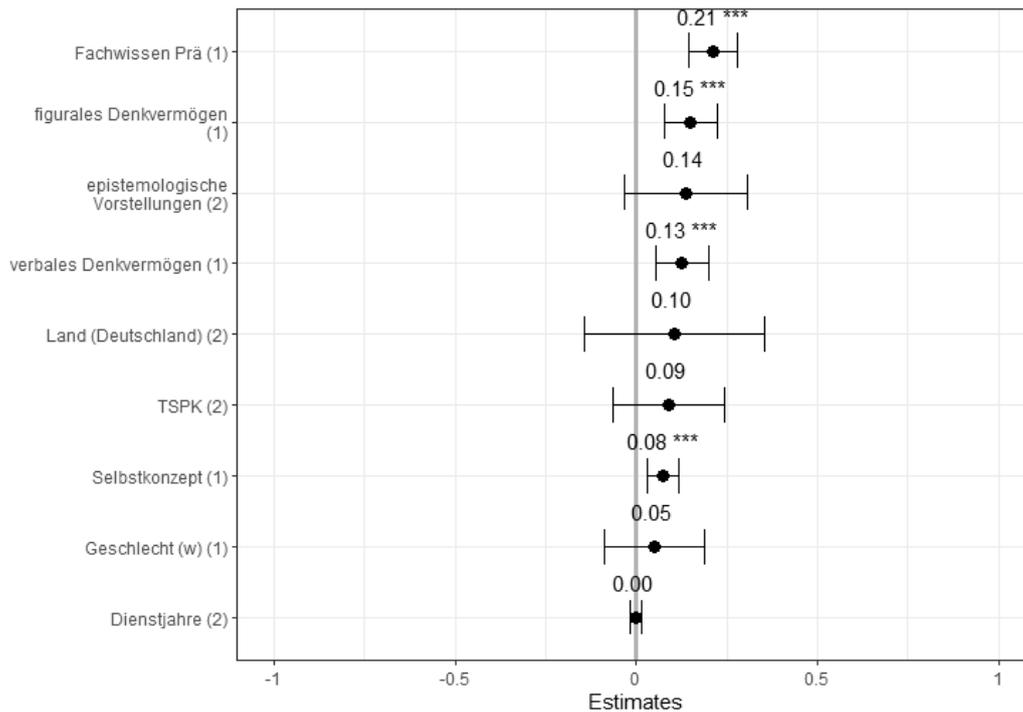


Abbildung 58: Darstellung des Modells M11 unter Aufnahme aller erhobenen relevanten Ebene 1 und Ebene 2 Prädiktoren. Die Punkte stellen die Schätzungen der einzelnen Prädiktoren dar, die Fehlerbalken stellen die 95%-Konfidenzintervalle der Schätzungen dar.

Da es sich bei dem in dieser Studie erhobenen Topic Specific Professional Knowledge vor allem auch um Wissen handelt, welches typischerweise in einer Lehramtsausbildung im deutschsprachigen Raum erworben werden kann, wird in einem letzten Schritt zusätzlich ein Ebene-2-Interaktionseffekt zwischen dem TSPK und den Dienstjahren der Lehrkräfte untersucht. Im Modell M11a wird daher kein weiterer Prädiktor hinzugefügt, sondern ein Interaktionseffekt (als TSPK*DJ bezeichnet) zwischen dem TSPK der Lehrkräfte und deren Dienstjahren, siehe Tabelle 29.

Tabelle 29: Vergleich von M11 mit M11a unter Hinzufügen eines Interaktionseffektes zwischen dem TSPK und den Dienstjahren der Lehrkräfte. $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{\text{prä}}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test, epVor für die epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte.

Parameter	M11			M11a		
	Schätzung	Std.SE	p	Schätzung	Std.SE	p
Ebene 1						
$FW_{\text{prä}}$	0.21	0.03	.000	0.21	0.03	.000
$SK_{\text{prä}}$	0.08	0.02	.001	0.07	0.02	.001
FDV	0.15	0.04	.000	0.15	0.04	.000
VDV	0.13	0.04	.000	0.13	0.04	.001
Sex w	0.05	0.07	.492	0.04	0.07	.525
Ebene 2						
Intercept	-0.08	0.12	.484	-0.08	0.12	.484
Land (D)	0.10	0.12	.401	0.21	0.13	.110
Dienstjahre	0.00	0.01	.997	-0.01	0.01	.328
epVor	0.14	0.08	.110	0.15	0.08	.063
TSPK	0.09	0.08	.253	0.29	0.12	.024
TSPK*DJ				-0.02	0.01	.050
BIC	2562.244			2562.664		
$\chi^2(df), p$				$\chi^2(13) = 3.97, p = .046$		

Durch das Hinzufügen des Interaktionseffekts zwischen dem TSPK und den Dienstjahren ergibt sich eine signifikante Modellverbesserung gegenüber dem Modell M11, jedoch auch gegenüber dem Random-Intercept-Modell, welches lediglich die relevanten Ebene 1-Prädiktoren beinhaltet ($\chi^2(13) = 12.43, p = .043$). In Abbildung 59 werden die beiden Modelle M11 und M11a graphisch gegenübergestellt.

Als finale Modellgleichung für M11a ergibt sich somit:

$$\begin{aligned}
 FW_{post_{ij}} = & \gamma_{00} + \gamma_{FW}FW_{prä_{ij}} + \gamma_{SK}SK_{prä_{ij}} + \gamma_{FDV}FDV_{ij} \quad (17) \\
 & + \gamma_{VDV}VDV_{ij} + \gamma_{Sex}Sex_{ij} \\
 & + \gamma_{Land}Land_{.j} + \gamma_{epVor}epVor_{.j} + \gamma_{DJ}DJ_{.j} + \gamma_{TSPK}TSPK_{.j} \\
 & + \gamma_{TSPK}TSPK_{.j}DJ_{.j} + u_{0j} + r_{ij}
 \end{aligned}$$

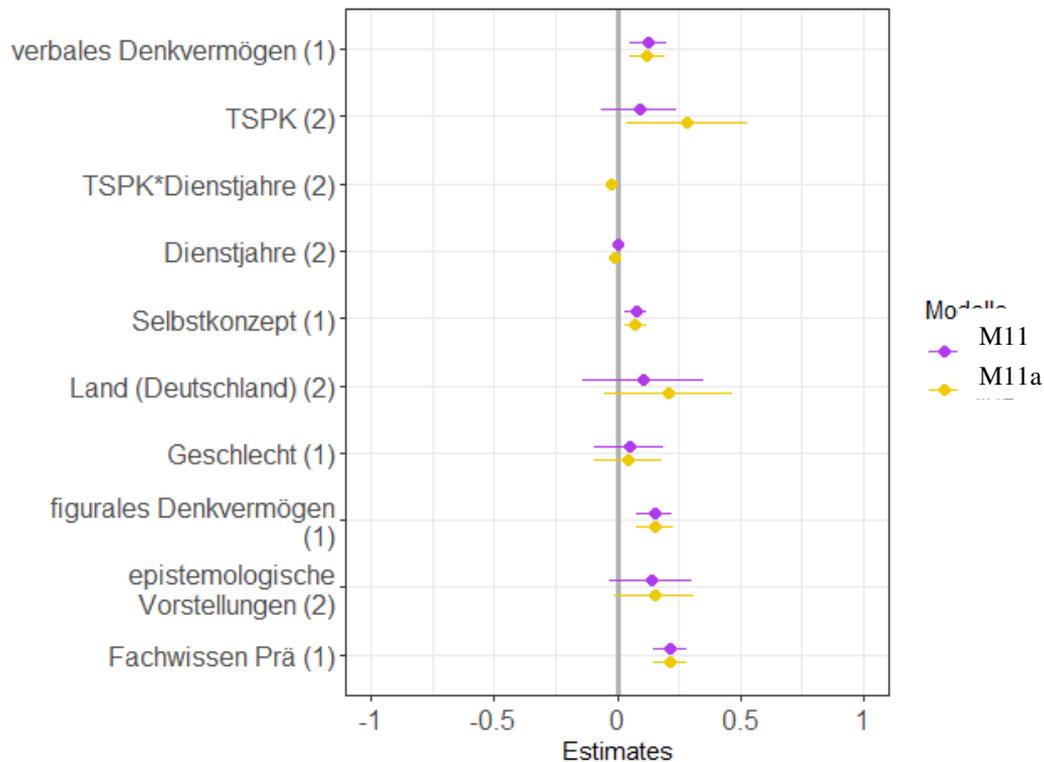


Abbildung 59: Graphischer Vergleich der beiden Modelle M10 und M10a. Die Punkte stellen die Schätzungen der einzelnen Prädiktoren dar, die Fehlerbalken stellen die 95%-Konfidenzintervalle der Schätzungen dar.

Zusätzlich ist das resultierende Modell M11a in Abbildung 60 graphisch dargestellt. In dieser Darstellung sind außerdem die Ausprägungen der Prädiktoren numerisch sowie farblich dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass unter Berücksichtigung des Interaktionseffekts das Land, in welchem die SchülerInnen den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht erlebt haben, einen vorsichtig formulierten positiven Zusammenhang zugunsten der in Deutschland unterrichteten SchülerInnen mit dem fachlichen Lernerfolg zeigt $KI_{95\%}[-0,05,0,47]$. Diese Aussage scheint sich auch für die epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte machen zu lassen $KI_{95\%}[-0,01,0,31]$. Insgesamt konnten mit diesem Modell 12 % der Varianz auf Individualebene der SchülerInnen und 56 % der Varianz zwischen den Schulklassen aufgeklärt werden.

Auch lassen sich im Vergleich zwischen Modell M11 und M11a zwei weitere interessante Aspekte beobachten: Einerseits stellt der Interaktionseffekt TSPK*DJ einen signifikanten Effekt dar ($KI_{95\%}[-0.05,-0.01]$). Andererseits ändert sich der Effekt des TSPK durch das Hinzufügen des Interaktionsterms. Der resultierende Parameter für das TSPK der Lehrkräfte von 0.29 ($KI_{95\%}[0.04,0.53]$) lässt sich jedoch nicht mit dem Effekt eines Prädiktors vergleichen, der kein Teil des Interaktionseffekts ist. Der Effekt des TSPK stellt in diesem Modell den Zusammenhang des TSPK mit dem fachlichen Lernerfolg – jedoch abhängig vom Wert des Prädiktors „Dienstjahre“ – dar (siehe Jaccard & Turrisi, 2003 für methodische Aspekte). Der geschätzte Parameter für das TSPK der Lehrkräfte steht in diesem Fall für den Zusammenhang des TSPK mit dem fachlichen Lernerfolg für eine Lehrkraft mit „null“ Dienstjahren dar, was eine sinnvolle Interpretation in dieser Form nicht möglich macht. Aus diesem Grund wird im Folgenden der Interaktionseffekt näher beleuchtet.

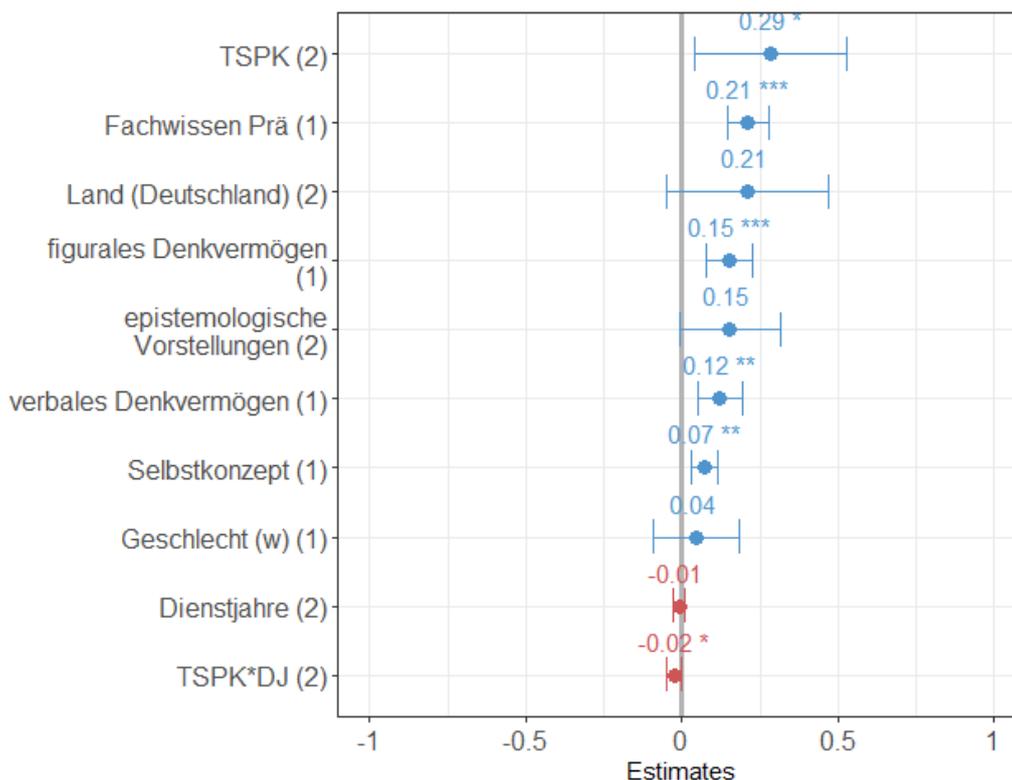


Abbildung 60: Darstellung des Modells M11a unter Aufnahme aller erhobenen relevanten Ebene 1 und Ebene 2 Prädiktoren. Die Punkte stellen die Schätzungen der einzelnen Prädiktoren dar, die Fehlerbalken stellen die 95%-Konfidenzintervalle der Schätzungen dar.

Um den Einfluss des TSPK, abhängig von der Anzahl der Dienstjahre, darstellen zu können, wurden auf Basis des Modells M11a die Post-Fachwissenstestleistung-

gen der SchülerInnen von insgesamt zehn fiktiven Lehrkräften (bei Konstanzhaltung der übrigen Variablen im Modell) vorhergesagt. In Abbildung 61 sind die daraus resultierenden Ergebnisse dargestellt. Die rote Gerade stellt den Zusammenhang zwischen dem TSPK und dem mittleren Ergebnis des Post-Fachwissenstests der SchülerInnen unter Kontrolle der weiteren Variablen aus Modell M11a für fiktive Lehrkräfte mit 3.54 Dienstjahren (also eine Standardabweichung unter der durchschnittlichen Anzahl an Dienstjahren) dar. Die schattierten Bereiche stellen dabei die 95 %-Konfidenzintervalle der Schätzungen dar. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich für „dienstjunge“ Lehrkräfte ein positiver Zusammenhang des TSPK mit den Ergebnissen im Post-Fachwissenstest der SchülerInnen ergibt. Im Gegensatz dazu ergibt sich für Lehrkräfte mit einer durchschnittlichen Anzahl an Dienstjahren kein derartiger Zusammenhang, dies ist durch die blaue Gerade in Abbildung 61 zu erkennen.

Interaktionseffekte zwischen zwei kontinuierlichen Prädiktoren haben immer eine symmetrische Struktur. Das bedeutet, dass sich für Lehrkräfte mit einem hohen Dienstal (also zum Beispiel einer Standardabweichung über dem Durchschnitt) ein negativer Zusammenhang zwischen dem TSPK und dem fachlichen Lernerfolg laut dem Modell ergibt.

Um dies näher zu untersuchen, wurde das Datenset in einem nächsten Schritt in zwei Teile geteilt, wobei als Teilungskriterium der Median (Median = 10) des Dienstal der Lehrkräfte gewählt wurde. Auf diese Weise wird einerseits untersucht, ob sich der anhand Abbildung 61 dargestellte positive Zusammenhang zwischen dem TSPK und dem fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen für „dienstjunge“ Lehrkräfte in einem reduzierten Sample auch zeigt. Andererseits wird hinterfragt, welchen Zusammenhang das TSPK der Lehrkräfte mit dem fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen für das Sub-Sample der „dienstälteren Lehrkräfte“ aufweist.

Auf Basis dieser Überlegungen wurden daher zwei Modelle M12 und M13 geschätzt, welche dieselben Prädiktoren beinhalten wie M11, die jedoch auf Basis der beiden Sub-Sample geschätzt werden. Für die Interpretation der Ergebnisse der beiden Modelle M12 und M13 muss jedoch angemerkt werden, dass die Anzahl an Ebene-2-Einheiten unter der typischerweise vorgeschlagenen Anzahl von 30 Einheiten liegt, weshalb die Ergebnisse mit großer Vorsicht zu interpretieren

sind. Die beiden resultierenden Modelle M12 und M13 sind in Tabelle 30 dargestellt.

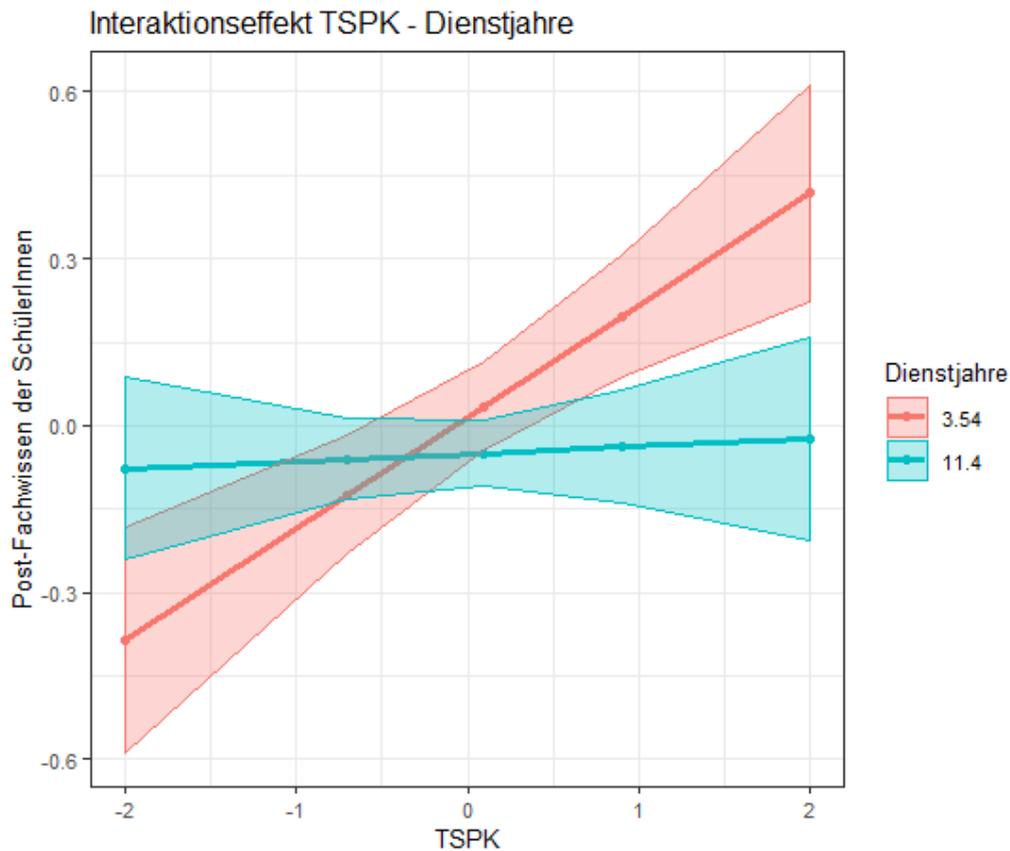


Abbildung 61: Plot des Interaktionseffekts TSPK-Dienstjahre. Die rote Gerade stellt den Zusammenhang des TSPK einer Lehrkraft mit einer Anzahl an Dienstjahren, die eine Standardabweichung unter der mittleren Anzahl an Dienstjahren liegt, dar. Die blaue Gerade stellt den Zusammenhang des TSPK einer Lehrkraft mit einer für das Sample durchschnittlichen Anzahl an Dienstjahren dar. Die Werte auf der y-Achse beziehen sich auf Abweichungen vom Gesamtmittelwert des Ergebnisses im Post-Fachwissenstest der SchülerInnen.

Tabelle 30: Vergleich der Modelle, die aus einem Median-Split bezüglich der Dienstjahre resultieren. $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{\text{prä}}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test. $FI_{\text{prä}}$ steht für das Fachinteresse Physik der SchülerInnen im Prä-Test, $ep\text{Vor}$ für die epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte..

Parameter	M12 Dienstjahre < 10 ($N_{\text{Lernende}} = 428$)			M13 Dienstjahre > 9 ($N_{\text{Lernende}} = 446$)		
	Schätzung	Std.SE	p	Schätzung	Std.SE	p
Ebene 1						
$FW_{\text{prä}}$	0.27	0.06	.000	0.18	0.05	.000
$SK_{\text{prä}}$	0.06	0.03	.073	0.08	0.03	.016
FDV	0.14	0.06	.019	0.15	0.05	.001
VDV	0.17	0.06	.003	0.10	0.05	.003
Sex w	-0.17	0.11	.877	0.10	0.09	.267
Ebene 2						
Intercept	-0.17	0.25	.496	-0.32	0.12	.008
Land (D)	0.10	0.17	.588	0.08	0.14	.578
Dienstjahre	0.04	0.05	.407	0.02	0.01	.030
$ep\text{Vor}$	-0.00	0.13	.995	0.05	0.10	.618
TSPK	0.20	0.09	.005	0.02	0.11	.845

Die in Tabelle 30 dargestellten Ergebnisse sind besonders hervorzuheben. Es zeigt sich, dass sich der Zusammenhang der epistemologischen Vorstellungen mit dem fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen in einer Betrachtung der beiden Sub-Sample nicht zeigt.

Es wird jedoch deutlich, dass sich das TSPK der dienstjüngeren Lehrkräfte, also jene mit weniger als zehn Dienstjahren, als signifikanter Prädiktor ($KI_{95\%}[0.00, 0.40]$) für den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen herausstellt. Dieser Effekt zeigt sich für das Sub-Sample der hier als „dienstälter“ bezeichneten Lehrkräftegruppe, das sind jene mit mehr als neun Dienstjahren, nicht ($KI_{95\%}[-0.21, 0.26]$). Allerdings stellt sich für diese Gruppe die Anzahl an Dienstjahren als signifikanter Prädiktor für fachliche Leistungen der SchülerInnen im Post-Test heraus ($KI_{95\%}[0.00, 0.05]$).

8.1.4 Prädiktoren für die Entwicklung des Fachinteresses

In diesem Kapitel wird die Entwicklung des Fachinteresses der SchülerInnen innerhalb des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts zur Beantwortung von Forschungsfrage 2 beleuchtet. Anhand der formulierten Hypothesen wird untersucht, ob sich eine eher konstruktivistische Vorstellung vom Lernen und Lehren Physik und die Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schüler-vorstellungen als positive Prädiktoren für das Fachinteresse der SchülerInnen im Post-Test herausstellen. Aufgrund der gewählten Operationalisierung des TSPK der Lehrkräfte wird kein Zusammenhang dessen mit der Entwicklung des Fachinteresses erwartet.

Wie bereits in Kapitel 8.1.2 beschrieben wird in Analysen ab dieser Stelle auf eine erneute Beschreibung der exakten Vorgehensweise verzichtet, es werden lediglich die wichtigsten (Zwischen-)Modelle beschrieben und Ergebnisse dargestellt.

Als erster Schritt wurde wiederum ein RIOM geschätzt, wobei das Fachinteresse der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht als abhängige Variable gewählt wurde. Die Varianz auf Individualebene der SchülerInnen (r_{ij}) beträgt $\sigma_{r_{ij}} = 1.74 \pm 1.32$. Die Abweichungen von der Regressionskonstanten als Varianz zwischen den Klassen (u_{0j}) beträgt $\sigma_{r_{ij}} = 0.72 \pm 0.85$. Gemäß Formel (4) (siehe Kapitel 7.3.2) ergibt sich somit ein Intraklassenkorrelationskoeffizient ρ von 0.294, es können also etwa 30 % der Gesamtvarianz auf Klassenebene aufgeklärt werden. Zusätzlich weist das Modell, welches eine Variation der Regressionskonstanten zwischen den Klassen zulässt, einen signifikant besseren Modellfit auf ($\chi^2(1) = 203.76, p < .0001$).

Danach wurde anhand einer Step-Up-Strategie ein RIM bestimmt, welches alle relevanten Individualprädiktoren beinhaltet. In Tabelle 31 ist das Modell MF1 dargestellt. Weder das Fachwissen noch das verbale und figurale Denkvermögen zum Zeitpunkt der Prä-Erhebung weisen einen signifikanten Zusammenhang mit dem Fachinteresse zur Posterhebung auf. Außerdem entwickelt sich das Fachinteresse im Zuge des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts gleichermaßen für Mädchen und Jungen. Das Fachinteresse sowie das physikbezogene Selbstkon-

zept (in Übereinstimmung mit z. B. Trautwein, Lüdtke, Marsh, Köller & Baumert, 2006) zum Zeitpunkt der Prä-Erhebung stellen zudem signifikante Prädiktoren dar.

Tabelle 31: Random-Intercept-Modell MF1 zum Fachinteresse Physik, welches die relevanten Ebene-1-Prädiktoren beinhaltet. FI_{prä} steht für das Fachinteresse der SchülerInnen im Prä-Test, SK_{prä} für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test.

Parameter	Schätzung	SE	p
Ebene 1			
Intercept	0.13	0.11	.250
FI _{prä}	0.52	0.04	.000
SK _{prä}	0.11	0.03	.000

Da sich das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen als einzig relevante Ebene-1-Variable (neben dem Prä-Fachinteresse) herausstellt, wurde die Beziehung zwischen dem Selbstkonzept der SchülerInnen in der Prä-Erhebung und dem Fachinteresse in der Post-Erhebung in den jeweiligen Klassen näher untersucht. In Abbildung 62 ist die Beziehung zwischen dem Prä-Selbstkonzept und dem Post-Fachinteresse in den unterschiedlichen Klassen dargestellt. Offensichtlich scheint die Beziehung in den jeweiligen Klassen unterschiedlich ausgeprägt zu sein, die Steigungen der jeweiligen Regressionsgeraden unterscheiden sich. Deshalb wurde in einem nächsten Schritt untersucht, ob die Steigungen tatsächlich signifikant zwischen den Klassen variieren, um letztendlich ein Random-Coefficient-Modell zu schätzen.

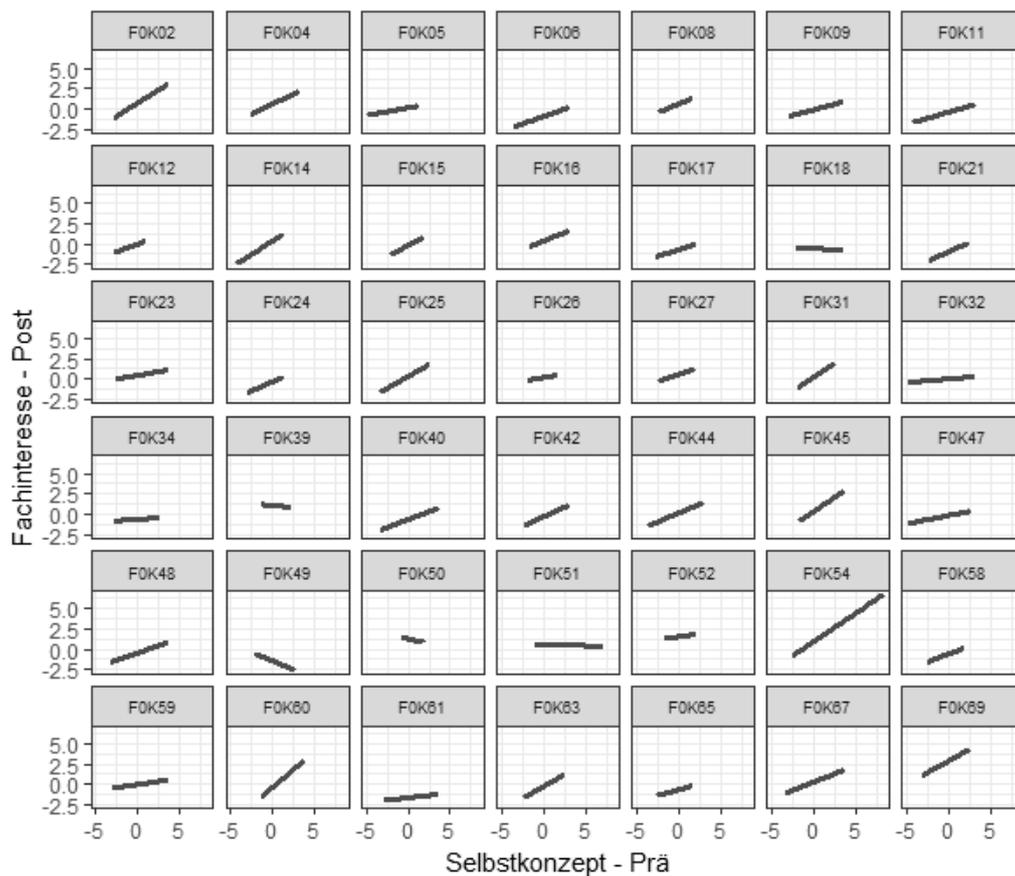


Abbildung 62: Zusammenhang zwischen dem Prä-Selbstkonzept und Post-Fachinteresse der SchülerInnen in den jeweiligen Klassen. In den jeweiligen Kästchen werden der Klassencode (z.B. F0K02) und die berechnete Regressionsgerade für diese Klasse dargestellt.

Im nächsten Schritt wurden daher die zwei Modelle MF1 und MF2 mit einem Likelihood-Ratio Test verglichen, wobei in Modell MF2 zugelassen wird, dass die Steigungen in Bezug auf das Prä-Selbstkonzept zwischen den Klassen variieren dürfen. Dabei weist das Modell MF2 einen signifikant besseren Fit auf als das Modell MF1 ($\chi^2(8) = 51.89, p < .0001$), die weiteren Analysen wurden also mit einem Random-Coefficient Modell MF2 durchgeführt.

Im nächsten Schritt wurde anhand der in Kapitel 6.3.2 formulierten Hypothesen untersucht, welche Ebene-2-Variablen einen bedeutungsvollen Zusammenhang mit der Entwicklung des Fachinteresses aufweisen und deshalb in das Modell aufgenommen werden müssen. In Übereinstimmung mit den Hypothesen konnten insgesamt zwei Ebene-2 Variablen identifiziert werden, die zu einer signifikanten Modellverbesserung beitragen. In Tabelle 32 ist das resultierende Modell MF3 dem Modell MF2 gegenübergestellt.

Tabelle 32: Vergleich der Modelle MF2 und MF3 unter Hinzufügen der Ebene-2-Prädiktoren Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen (SWE:SV) sowie epistemologische Vorstellungen (epVor). FIprä steht für das Fachinteresse der SchülerInnen im Prä-Test, SKprä für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test.

Parameter	MF2			MF3		
	Schätzung	Std.SE	p	Schätzung	Std.SE	p
Ebene 1						
FI _{prä}	0.55	0.03	.000	0.54	0.03	.000
SK _{prä}	0.11	0.04	.008	0.10	0.03	.000
Ebene 2						
Intercept	0.07	0.11	.226	0.07	0.09	.462
SWE:SV				0.23	0.10	.032
epVor				-0.24	0.12	.054
$\chi^2(df), p$	$\chi^2(9) = 6.66, p = .036$					

Es zeigt sich, dass die Selbstwirksamkeit im Handlungsfeld Schülervorstellungen als signifikant positiver Prädiktor für die Entwicklung des Fachinteresses gesehen werden kann, wobei die epistemologischen Vorstellungen der Physiklehrkräfte, wie sie in dieser Dissertation operationalisiert wurden (eine höhere Ausprägung entspricht also einer eher rezeptiven Vorstellung vom Lernen und Lehren), einen signifikant negativen Prädiktor darstellen. Für eine weiterführende Interpretation dieser Ergebnisse siehe Kapitel 9.3.

Im nächsten Schritt wurde schließlich noch untersucht, ob sich die unterschiedlichen Steigungen der Beziehungen zwischen dem Prä-Selbstkonzept und dem Fachinteresse in der Post-Erhebung durch Ebene 2-Prädiktoren erklären lassen, also ob eine sogenannte Cross-Level-Interaktion vorliegt.

In einem letzten Schritt wurde deshalb ein Cross-Level-Interaktionseffekt in das neue Modell MF3a zwischen der Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen und dem physikbezogenen Selbstkonzept der SchülerInnen eingefügt. In Tabelle 33 ist eine Übersicht für dieses finale Modell zu sehen. Insgesamt konnten mit diesem Modell 62,5 % der Varianz auf Individualebene der SchülerInnen und 40 % der Varianz zwischen den Schulklassen aufgeklärt werden.

Tabelle 33: Überblick über das RCM MF3a, welches den Interaktionseffekt zwischen der Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte (SWE:SV) und dem Prä-Selbstkonzept der SchülerInnen enthält. FI_{prä} steht für das Fachinteresse der SchülerInnen im Prä-Test, SK_{prä} für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test, epVor für die epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte..

Parameter	Schätzung	Std.SE	p
Ebene 1			
FI _{prä}	0.55	0.03	.000
SK _{prä}	0.10	0.04	.008
Ebene 2			
Intercept	0.06	0.09	.469
SWE:SV	0.29	0.11	.012
epVor	-0.24	0.12	.049
SWE:SV * SK _{prä} (slope)	0.07	0.04	.073

In Abbildung 63 ist dieser Cross-Level-Interaktionseffekt auch graphisch dargestellt. Für Lehrkräfte mit einer hohen Selbstwirksamkeitserwartung (eine Standardabweichung über dem Mittel) im Handlungsfeld Schülervorstellungen ist die Beziehung zwischen dem Prä-Selbstkonzept der SchülerInnen und dem Post-Fachinteresse positiv und stärker ausgeprägt im Vergleich zu Lehrkräften mit einer niedrigeren Selbstwirksamkeitserwartung (eine Standardabweichung unter dem Mittel).

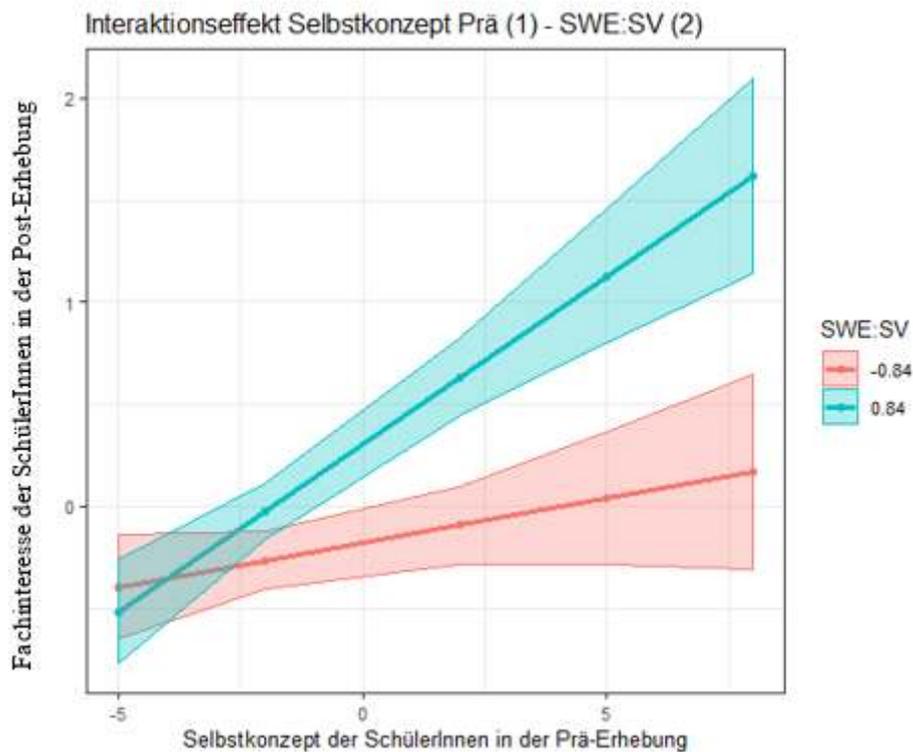


Abbildung 63: Plot des Interaktionseffekts $SWE:SV * SK_{prä}$. Die blaue Gerade stellt den Zusammenhang der Selbstwirksamkeitserwartung einer Lehrkraft mit einer hohen Selbstwirksamkeitserwartung, die eine Standardabweichung über der mittleren Selbstwirksamkeitserwartung liegt, dar. Die rote Gerade stellt den Zusammenhang der Selbstwirksamkeitserwartung einer Lehrkraft mit einer Selbstwirksamkeitserwartung, die eine Standardabweichung unter dem Mittel liegt, dar.

Diese Ergebnisse lassen sich vor einer weiterführenden Interpretation in Kapitel 9.3 vorsichtig derart interpretieren: Schulklassen, die von einer Lehrkraft mit einer hohen Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen unterrichtet werden, zeigen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht ein höheres Fachinteresse als Klassen, die von einer Lehrkraft mit einer niedrigen Selbstwirksamkeitserwartung unterrichtet werden (unter Kontrolle der restlichen Variablen). Außerdem weisen SchülerInnen mit einem höheren physikbezogenen Selbstkonzept ein höheres Fachinteresse auf als SchülerInnen mit einem geringen Selbstkonzept. Diese positive Beziehung Selbstkonzept – Fachinteresse ist zudem bei Lehrkräften mit einer hohen Selbstwirksamkeitserwartung stärker ausgeprägt. Für das TSPK der Lehrkräfte (und somit auch *Wissen über Schülervorstellungen*) zeigen sich diese Effekte jedoch nicht. In Bezug auf die Entwicklung des Fachinteresses scheint es also weniger auf kanonisches *Wissen über Schülervorstellungen* anzukommen als vielmehr auf die Selbstwirksamkeitserwartung von Lehrkräften, mit vorhandenen Schülervorstellungen im Unterricht auch umgehen zu können.

8.1.5 Prädiktoren für die Entwicklung des Selbstkonzepts

Als letzte Outcome-Variable wird die Entwicklung des physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen im Zuge des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts zur Beantwortung von Forschungsfrage 3 untersucht. Anhand der formulierten Hypothesen wird untersucht, ob sich eine eher konstruktivistische Vorstellung vom Lernen und Lehren von Physik und die Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen als positive Prädiktoren für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Post-Test herausstellen. Aufgrund der gewählten Operationalisierung des TSPK der Lehrkräfte wird kein Zusammenhang dessen mit der Entwicklung des physikbezogenen Selbstkonzepts erwartet.

Analog zu den vorhergehenden Analysen wurde in einem ersten Schritt ein RIOM mit dem physikbezogenen Selbstkonzept der SchülerInnen als abhängige Variable geschätzt. Die Varianz auf Schülerebene (r_{ij}) beträgt dabei $\sigma_{r_{ij}} = 2.34 \pm 1.53$. Die Intercept-Abweichungen vom Intercept der Gesamtpopulation als Varianz zwischen den Klassen ergibt sich dabei zu $\sigma_{r_{ij}} = 0.70 \pm 0.84$. Daraus resultiert ein Intraklassenkorrelationskoeffizient von $\rho = 0.23$, es können also etwa 23 % der Gesamtvarianz auf Klassenebene erklärt werden. Außerdem ergibt sich auch in diesem Fall ein besserer Modellfit des Mehrebenenmodells ($\chi^2(1) = 145.72, p < .0001$).

In analogem Vorgehen zur Analyse der Entwicklung des Fachwissens sowie des Fachinteresses wurde in einem nächsten Schritt mithilfe einer Step-Up-Strategie ein RIM unter Aufnahme aller relevanten Ebene-1 Prädiktoren bestimmt (MS1). Aufgrund der wechselseitigen Beziehung zwischen fachlichen bzw. allgemeinen Leistungen und dem Selbstkonzept (siehe Kapitel 7.5.2.2) wurden auch das Fachwissen sowie das figurale Denkvermögen der SchülerInnen als Kontrollvariablen in das Modell aufgenommen.

Tabelle 34: Modell MS1 zum physikbezogenen Selbstkonzept, welches die relevanten Ebene-1-Prädiktoren beinhaltet und Variation der Steigungen in Bezug auf das Prä-Fachinteresse der SchülerInnen zulässt. $CK_{\text{prä}}$ steht für das Fachwissen der SchülerInnen im Prä-Test, $SK_{\text{prä}}$ für das Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test, FDV für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test.

Parameter	Schätzung	SE	p
Ebene 1			
Intercept	0.14	0.12	.257
$SK_{\text{prä}}$	0.51	0.03	.000
$CK_{\text{prä}}$	0.14	0.04	.002
FDV	0.10	0.05	.026
Geschlecht (w)	-0.13	0.09	.146

Im Vergleich zu diesem Kontrollvariablenmodell MS1 wurden die in Kapitel 6.3.3 formulierten Hypothesen durch Aufnahme der jeweiligen Ebene-2-Variablen untersucht. Dabei konnten zwei Prädiktoren auf Klassenebene identifiziert werden: die Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen sowie die epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte, das resultierende Modell MS2 ist in Tabelle 35 dargestellt. Eine Aufnahme des TSPK (*Wissen über Schülervorstellungen und Wissen über Instruktionsstrategien*) der Lehrkräfte zur Anfangs-Elektrizitätslehre zeigte hingegen keine signifikante Verbesserung des Modellfits ($\chi^2(12) = 0.07, p = .793$) und stellt somit auch keinen signifikanten Prädiktor dar ($KI_{95\%}[-0.28, 0.21]$). In Tabelle 35 sind die beiden Modelle MS1 und MS2 gegenübergestellt. Insgesamt konnten mit diesem Modell M2 40,5 % der Varianz auf Individualebene der SchülerInnen und 52,9 % der Varianz zwischen den Schulklassen aufgeklärt werden.

Tabelle 35: Vergleich der beiden Modelle MS1 und MS2. CKprä steht für das Fachwissen der SchülerInnen im Prä-Test, SKprä für das Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test, FDV für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test. SWE:SV steht für die Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen, epVor für die epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte.

Parameter	MS1			MS2		
	Schätzung	Std.SE	p	Schätzung	Std.SE	p
Ebene 1						
SK _{prä}	0.51	0.03	.000	0.56	0.05	.000
CK _{prä}	0.14	0.04	.002	0.12	0.04	.006
FDV	0.10	0.05	.026	0.10	0.05	.036
Geschlecht (w)	-0.13	0.09	.146	-0.14	0.09	.111
Ebene 2						
Intercept	0.14	0.12	.257	0.10	0.11	.335
SWE:SV				0.25	0.12	.044
epVor				-0.29	0.14	.047
$\chi^2(df), p$				$\chi^2(9) = 62.57, p < .001$		

8.2 Ergebnisse der Sachstruktur-Elemente

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Untersuchung sachstruktureller Elemente des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts von 32 Lehrkräften berichtet. Untersucht wird dabei einerseits, welche Inhalte die Lehrkräfte dieser Stichprobe in ihrem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht thematisieren, aber auch, in welcher zeitlichen Beziehung zentrale Inhalte des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts im Unterricht einzelner Lehrkräfte zueinanderstehen. Als zweiter Aspekt wird der Einsatz von Analogiemodellen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht untersucht, dahingehend welche Analogiemodelle und wie die Lehrkräfte diese einsetzen. Diese Beschreibung geschieht anhand der Analyse der in Kapitel 7.6 beschriebenen Unterrichtslogbücher sowie Schülerhefte.

8.2.1 Thematisierte Inhalte im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht

In Tabelle 36 ist dargestellt, welche Inhalte von den teilnehmenden Lehrkräften in ihrem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht thematisiert wurden. Am häufigsten wurden die Grundgrößen „elektrische Stromstärke“ sowie „elektrische Spannung“ – insgesamt von 31 der 32 Lehrkräfte – thematisiert. Dies bedeutet aber im Umkehrschluss ebenso, dass eine der 32 Lehrkräfte diese beiden Größen nicht in ihrem Unterricht thematisierte oder diese zumindest nicht als Schlüsselinhalte einer Stunde sah und dazu auch keine Notizen im Schülerheft oder auf Arbeitsblättern anfertigen ließ. Zur Übersicht sind die Kategorien sowie deren relative Häufigkeiten auch graphisch in Abbildung 64 dargestellt.

Tabelle 36: Übersicht über die resultierenden Kategorien der thematisierten Inhalte inklusive deren absoluter (Abs) sowie relativer (Rel) Häufigkeit.

Kategorie	Abs N	Rel (%)	Kategorie	Abs N	Rel (%)
Elektrische Stromstärke	31	97,0	Schaltsymbole	13	40,6
Elektrische Spannung	31	97,0	UND/ODER Schal- tung	12	37,5
Einfacher Stromkreis	28	87,5	Magnetismus	7	21,9
Reihenschaltung	26	81,3	Elektrische Energie	7	21,9
Parallelschaltung	26	81,3	Elektrische Leistung	6	18,8
Elektrischer Widerstand	23	71,9	U-I Kennlinie	5	15,6
Ohm'sches Gesetz	21	65,6	Maschen- und Knotenregel	5	15,6
Messgeräte	20	62,5	Stromrichtung, Pole eines Generators	4	12,5
Leiter/Nichtleiter	19	59,4	Schaltungen im Haushalt	4	12,5
Modellvorstellung Strom	18	56,3	Gemischte Schaltun- gen	4	12,5
Elektrostatik	18	56,3	Wechselschalter	3	9,4
Wirkungen des elektrischen Stroms	17	53,1	Ein Tag ohne Elektri- zität	3	9,4
Sicherheit und Gefahren	17	53,1	Solarzelle und Piezoelemente	2	6,3
Batterie und Akku	14	43,8	Elektrisches Potenzial	2	6,3
Atomaufbau	14	43,8	Schaltungen von Batterien	1	3,1

Neben den Grundgrößen stellen auch die „Reihen- und Parallelschaltung,“ der „einfache Stromkreis“, der „elektrische Widerstand“ und das „ohmsche Gesetz“ (als $U = R \cdot I$) Inhalte dar, die zumindest von zwei Drittel der Lehrkräfte in ihrem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht behandelt wurden.

Überraschend erscheint, dass nur etwas mehr als die Hälfte (56,3 %) der Lehrkräfte eine „Modellvorstellung des elektrischen Stroms“ explizit thematisiert hat.

Außerdem findet lediglich im Unterricht von 15,6 % der Lehrkräfte eine Messung von „U-I-Kennlinien“ statt.

9,4 % der Lehrkräfte nehmen sich eine Unterrichtsstunde Zeit, um darüber zu diskutieren, wie denn ein „Tag ohne Elektrizität“ aussehen würde. Lediglich eine der 32 Lehrkräfte gab an, die „Parallel- und Serienschaltung von mehreren Batterien“ zu thematisieren.

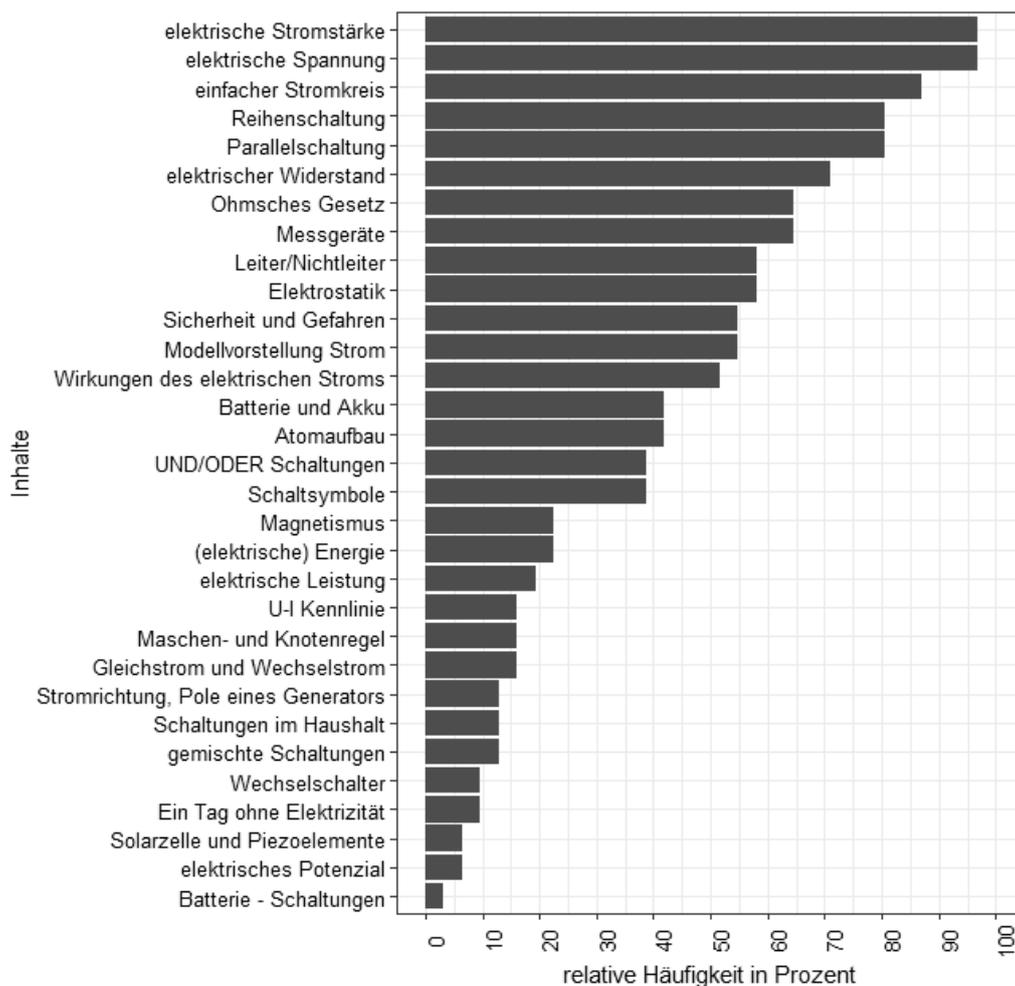


Abbildung 64: Relative Häufigkeiten der thematisierten Inhalte der Lehrkräfte. Die relativen Häufigkeiten entsprechen dem relativen Anteil der Lehrkräfte, die den entsprechenden Inhalt thematisiert haben.

Nach dieser Übersicht über die thematisierten Inhalte aller 32 Lehrkräfte werden im Folgenden die Unterschiede der thematisierten Inhalte zwischen den Ländern und (deutschen) Bundesländern dargestellt. Aufgrund der allgemein kleinen und für die (Bundes-)Länder unterschiedlichen Stichprobengrößen sind die Vergleiche zwischen den Ländern lediglich als Beschreibungen und nicht als generalisierbare Unterschiede zu betrachten.

8.2.1.1 Thematisierte Inhalte im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht in Bayern

In Abbildung 65 sind die relativen Häufigkeiten der von den in Bayern unterrichtenden Lehrkräften (N = 10) thematisierten Inhalte dargestellt.

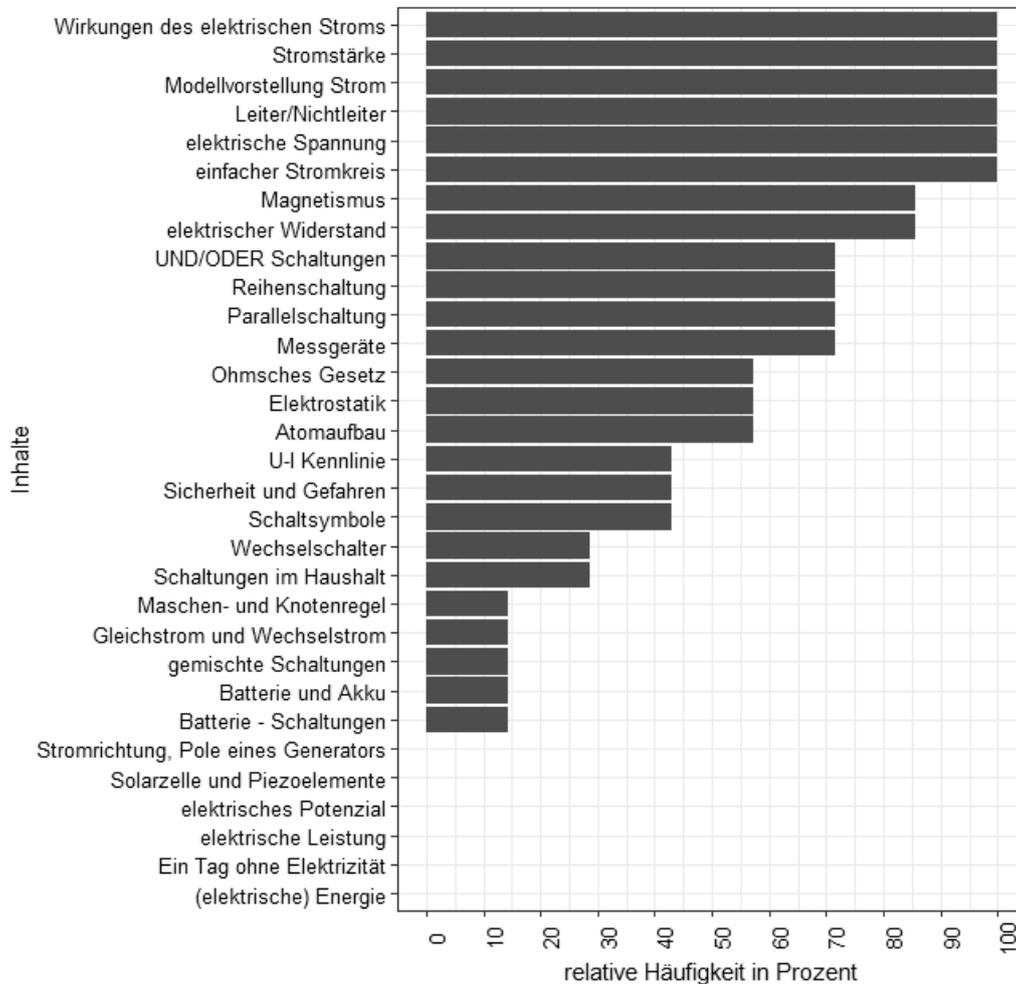


Abbildung 65: Relative Häufigkeiten der thematisierten Inhalte der in Bayern unterrichtenden Lehrkräfte (N = 10). Die relativen Häufigkeiten entsprechen dem relativen Anteil der Lehrkräfte, die den entsprechenden Inhalt thematisiert haben.

Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass die von den in Bayern unterrichtenden Lehrkräften thematisierten Inhalte einheitlicher ausgeprägt sind im Vergleich zu den von den in Hessen und Österreich unterrichtenden Lehrkräften thematisierten Inhalten (siehe Abbildung 66 und Abbildung 67). Neben den Grundgrößen „elektrische Stromstärke“ und „elektrische Spannung“ werden auch „Wirkungen des elektrischen Stroms“, „Modellvorstellung Strom“, „Leiter/Nichtleiter“ und „einfacher Stromkreis“ von allen Lehrkräften thematisiert. Im Vergleich zum hessischen und österreichischen Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht des Samp-

les wird in der bayrischen Stichprobe auch der Inhalt „Magnetismus“ thematisiert. Dies kann jedenfalls auch auf den zu diesem Zeitpunkt aktuellen Lehrplan zurückzuführen sein.

8.2.1.2 Thematisierte Inhalte im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht in Hessen

In Abbildung 66 sind die relativen Häufigkeiten der thematisierten Inhalte der hessischen Lehrkräfte dargestellt.

Der Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht der in Hessen unterrichtenden Physiklehrkräfte ist vergleichsweise heterogener als der Unterricht der in Bayern unterrichtenden Lehrkräfte. Wie in Abbildung 66 ersichtlich ist, gibt es keinen Inhalt, der in allen hessischen Klassenräumen des Samples thematisiert wurde. Am Häufigsten wurden die Inhalte „elektrische Stromstärke“, „elektrische Spannung“, „Modellvorstellung Strom“, „einfacher Stromkreis“ sowie „UND/ODER Schaltungen“ thematisiert. Im Vergleich zum bayrischen Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht ist auch auffallend, dass „Wirkungen des elektrischen Stroms“ nur in etwa einem Drittel der Klassen thematisiert wurden. Diese Heterogenität des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts der hessischen Teilstichprobe lässt sich vermutlich ebenso auf die schulintern entwickelten Lehrpläne (siehe Kapitel 5.1.2) zurückführen, im Vergleich zu den schulübergreifenden Lehrplänen in Bayern und Österreich.

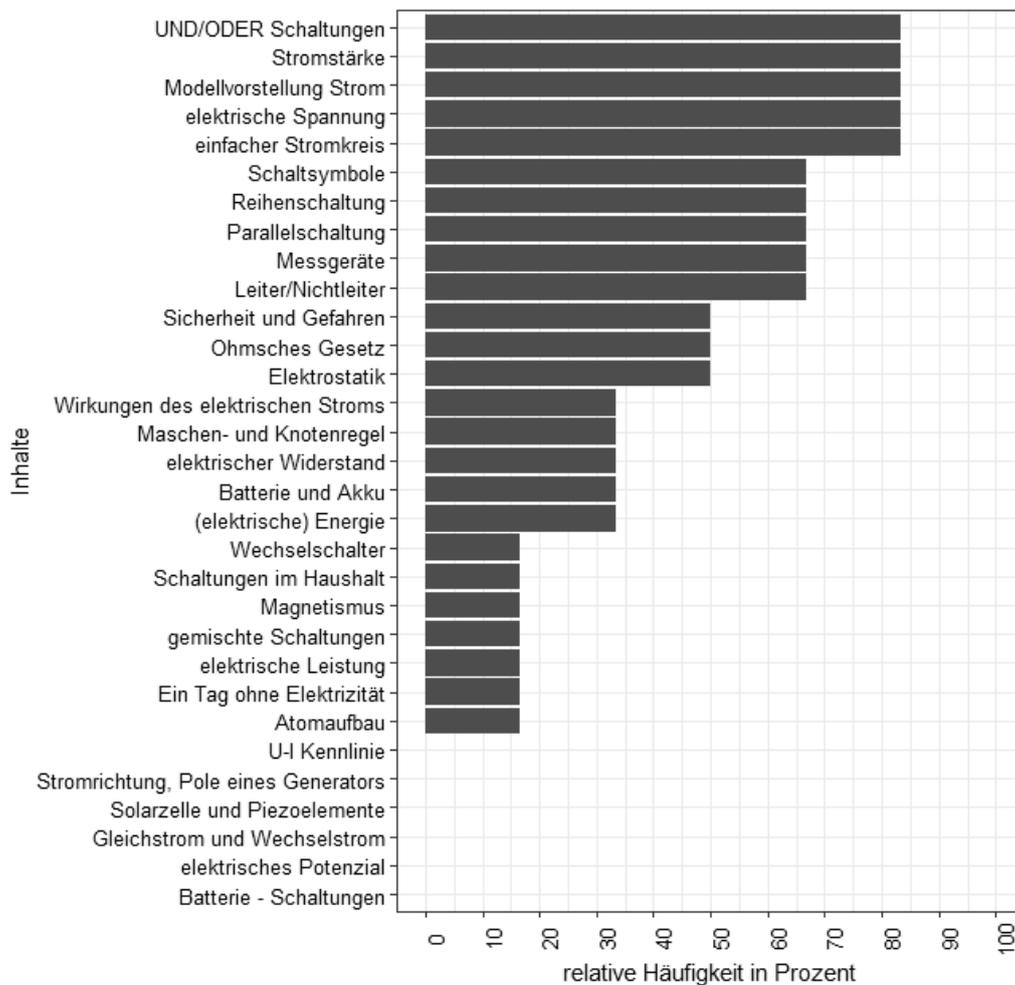


Abbildung 66: Relative Häufigkeiten der thematisierten Inhalte der in Hessen unterrichtenden Lehrkräfte ($N = 6$). Die relativen Häufigkeiten entsprechen dem relativen Anteil der Lehrkräfte, die den entsprechenden Inhalt thematisiert haben.

8.2.1.3 Thematisierte Inhalte im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht in Österreich

In Abbildung 67 sind die relativen Häufigkeiten der thematisierten Inhalte der in Österreich unterrichtenden Lehrkräfte ($N = 16$) dargestellt. Der Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht der österreichischen Lehrkräfte unterscheidet sich vom Unterricht in Deutschland hinsichtlich mehrerer Aspekte: Einerseits wurden „UND/ODER Schaltungen“ von keiner in Österreich unterrichtenden Lehrkraft im Zuge dieser Studie thematisiert. Relativ gesehen thematisierten auch weniger österreichische Lehrkräfte explizit die Anschlussbedingungen und Besonderheiten des „einfachen Stromkreises“ sowie explizit die „Modellvorstellung Strom“. Dafür nahm das „ohmsche Gesetz (als $U = R \cdot I$)“ einen zentraleren Part im Vergleich zum Unterricht der in Deutschland unterrichtenden Physiklehrkräfte ein. Außerdem wurden der Aufbau und die Funktionsweise von „Batterien und

Akkumulatoren“ von den in Österreich unterrichtenden Physiklehrkräften häufiger thematisiert als von ihren in Hessen und Bayern unterrichtenden KollegInnen. Bis auf die Einführung der Grundgrößen „elektrische Stromstärke“ und „elektrische Spannung“ lassen sich jedoch auch keine weiteren Inhalte finden, die letztendlich in allen teilnehmenden österreichischen Schulklassen thematisiert wurden.

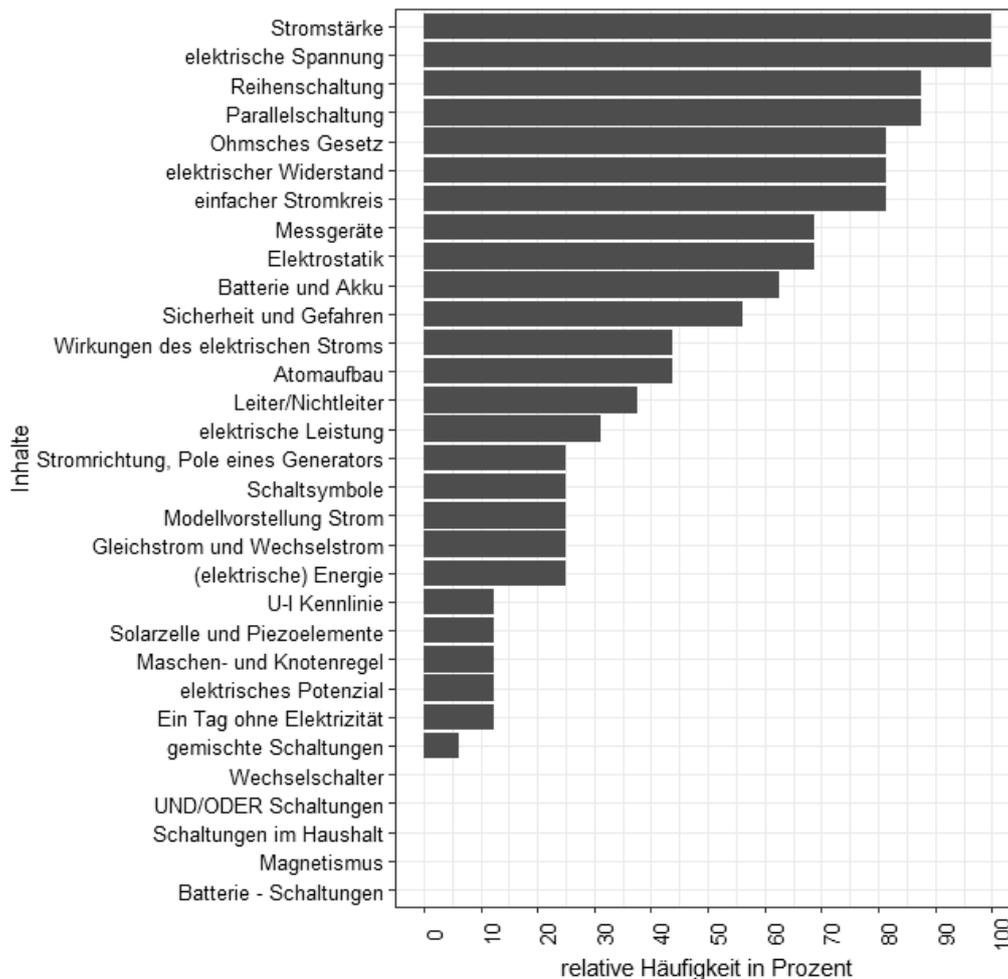


Abbildung 67: Relative Häufigkeiten der thematisierten Inhalte der in Österreich unterrichtenden Lehrkräfte ($N = 16$). Die relativen Häufigkeiten entsprechen dem relativen Anteil der Lehrkräfte, die den entsprechenden Inhalt thematisiert haben.

8.2.2 Relationen der thematisierten Inhalte im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht

Wie in Kapitel 7.6 beschrieben werden in diesem Kapitel die Ergebnisse der multidimensionalen Skalierung der thematisierten Inhalte dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Stichprobengrößen in Bayern, Hessen und Österreich wurde keine länderspezifische Auswertung vorgenommen. Die Interpretation der resul-

tierenden Dimensionen innerhalb einer multidimensionalen Skalierung stellt immer eine subjektive Interpretation – ähnlich wie bei der Interpretation einer explorativen Faktorenanalyse – dar, weshalb die Ergebnisse immer unter diesem Gesichtspunkt zu sehen sind.

In Abbildung 68 ist die Konfiguration auf Basis aller analysierten Unterrichtslogbücher dargestellt. In dieser Abbildung sind die thematisierten Inhalte als Punkte visualisiert, wobei die Größe der Punkte die Anzahl an Kodierungen dieser Kategorie (im Sinne einer Mehrfachkodierung pro Klasse) darstellen. Wie in 7.6 beschrieben wurden die Kategorien „elektrische Stromstärke“, „elektrische Spannung“ sowie „elektrischer Widerstand“ pro Logbuch nur einmal – und zwar an der Stelle, an der diese Grundgröße im Unterricht eingeführt wurde – kodiert, da ansonsten keine Entscheidung darüber getroffen werden kann, zu welchem Zeitpunkt diese Grundgrößen eingeführt wurden. Die restlichen Kategorien wurden immer dann kodiert, wenn diese als Schlüsselinhalt der Stunde zu sehen sind. Die Verbindungslinien stellen direkt die Ähnlichkeiten (wie in Kapitel 7.3.4 beschrieben) der thematisierten Inhalte im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht dar. Wenn eine Linie zwischen zwei Inhalten existiert, mussten diese Inhalte mindestens 21 Mal in einem Abstand von zwei Stunden zentrales Unterrichtsthema sein. Linien zwischen thematisierten Inhalten, die insgesamt von weniger als 21 Lehrkräften thematisiert wurden, sind aufgrund von Mehrfachkodierungen möglich.

Die Abstände zwischen den thematisierten Inhalten stellen nun deren (zeitliche) Ähnlichkeit dar. Liegen zwei thematisierte Inhalte also nah beieinander, so wurden diese auf alle Lehrkräfte bezogen auch zeitlich nah einander im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht thematisiert.

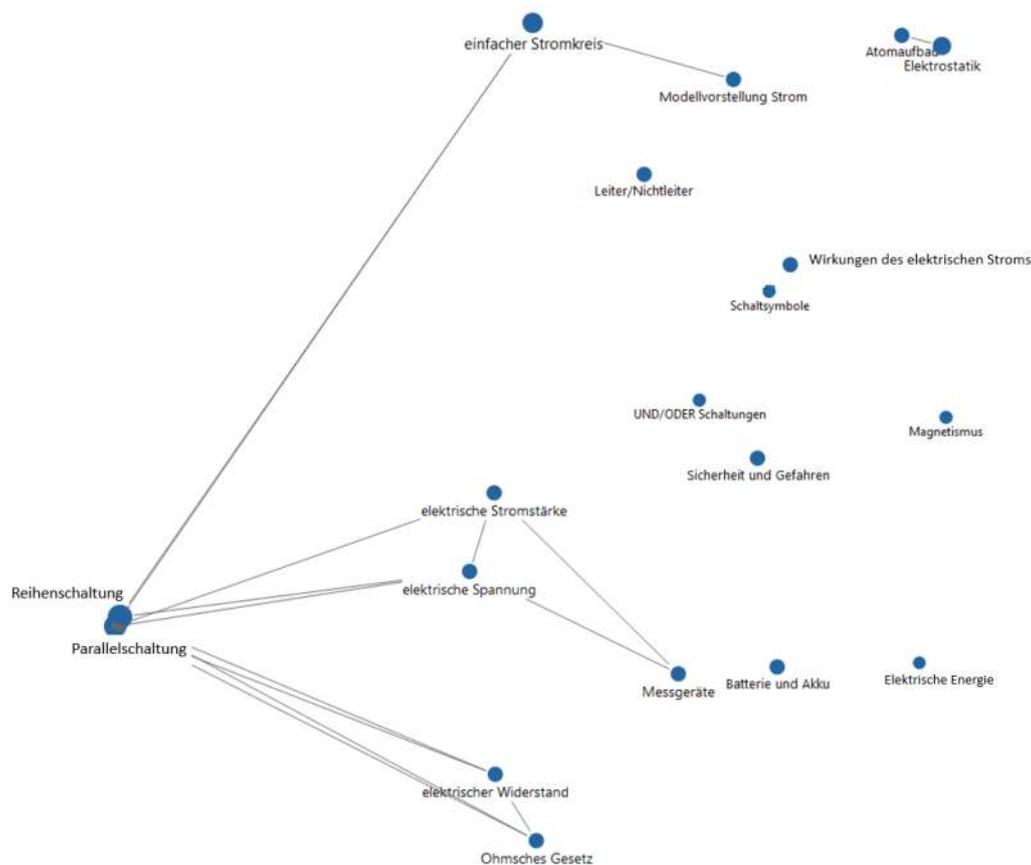


Abbildung 68: Konfiguration als Ergebnis der multidimensionalen Skalierung der Ähnlichkeiten der thematisierten Inhalte aller Lehrkräfte. Aus Übersichtsgründen sind nur Inhalte, die von mehr als 20 % der Lehrkräfte thematisiert wurden, dargestellt.

Abbildung 68 stellt also nicht den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht einer einzelnen Lehrkraft dar und auch nicht den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht wie er von den meisten Lehrkräften durchgeführt wird. Vielmehr stellt die Abbildung ein Amalgam des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts aller Lehrkräfte dar, also eine Verschmelzung oder Mischung der unterschiedlichen Interventionen. Die Dimensionen der Konfiguration – also in vertikaler y-Richtung und horizontaler x-Richtung – können folgendermaßen interpretiert werden:

Die y-Richtung von oben nach unten gelesen stellt grob die zeitliche Abfolge der thematisierten Inhalte im Unterricht dar, die durch die existierenden Verbindungen zwischen den Inhalten unterstützt wird. Gemäß dieser Interpretation startet der Amalgam-Elektrizitätslehreunterricht also entweder mit dem Inhalt „einfacher Stromkreis“ oder „Atomaufbau/Elektrostatik“, gefolgt von der „Modellvorstellung Strom“. Die existierende Verbindung zwischen dem Inhalt „einfacher Stromkreis“ und „Reihenschaltung“ sowie „Parallelschaltung“ und die nicht existierenden Verbindungen zwischen „einfacher Stromkreis“ sowie „elektrische

Stromstärke“ weisen darauf hin, dass die Lehrkräfte zum Teil „Serien- und Parallelschaltung“ vor der Einführung der „elektrischen Stromstärke“ sowie „elektrischer Spannung“ thematisiert haben. Danach haben die Lehrkräfte die elektrischen Grundgrößen eingeführt und schließlich noch einmal „Parallel- und Serienschaltungen“ thematisiert. Den Abschluss des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts bilden die Definition des elektrischen Widerstands über das ohm'sche Gesetz sowie die Auseinandersetzung damit.

Die x-Richtung von links nach rechts gelesen stellt dar, wie oft die thematisierten Inhalte als (zeitlich) ähnlich zu weiteren thematisierten Inhalten gezählt wurden. Dies hängt indirekt auch mit der Gesamtanzahl der Kodierungen des jeweiligen thematisierten Inhalts zusammen.

Anhand dieser Amalgam-Darstellung lassen sich einige für den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht der teilnehmenden Lehrkräfte typische Abfolgemuster feststellen. Um diese Muster auf einer globalen Ebene darstellen zu können, müssen jedoch weitere Einschränkungen getroffen werden. Für eine weitere Analyse der Abfolge werden daher die von mindestens 21 Lehrkräften (also rund zwei Drittel) thematisierten Inhalte herangezogen. Außerdem wird in der Analyse der Inhalt „Elektrostatik“ hinzugezogen, weil dieser Inhalt in allen 18 Fällen (also von 18 Lehrkräften) an einer ähnlichen Stelle in der zeitlichen Abfolge thematisiert wurde. Zusätzlich werden die Inhalte „Reihenschaltung“ und „Parallelschaltung“ für die weitere Betrachtung als ein Inhalt aufgefasst, da diese Inhalte in allen Fällen in angrenzenden Stunden thematisiert wurden. Wenn die elektrischen Grundgrößen „elektrische Stromstärke“, „elektrische Spannung“ und „elektrischer Widerstand“ in angrenzenden Unterrichtsstunden thematisiert wurden, werden diese Inhalte unter „Grundgrößen“ zusammengefasst. Ist dies nicht der Fall, werden die Inhalte separat angeführt.

Insgesamt ergeben sich dabei sieben Abfolgemuster an thematisierten Inhalten, anhand derer der Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht von 28 der 32 Lehrkräfte in einer äußerst groben Auflösung beschrieben werden kann. Diese sind in Abbildung 69 dargestellt.

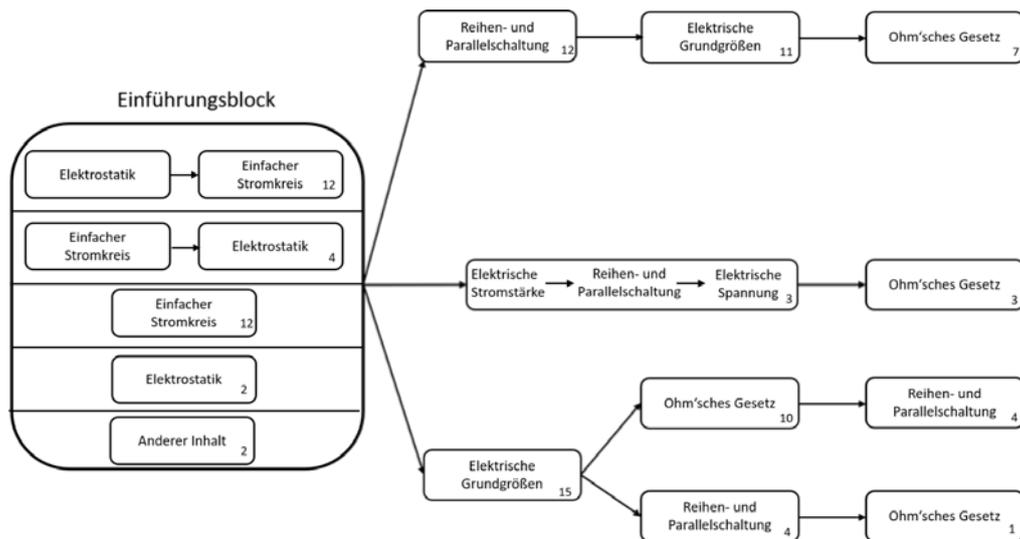


Abbildung 69: Abfolgemuster der am häufigsten thematisierten Inhalte der Lehrkräfte. Die Zahlen in den jeweiligen Feldern stehen für die Anzahl der Lehrkräfte, die die Inhalte in der dargestellten Reihenfolge unterrichtet haben.

Aus Abbildung 69 wird ersichtlich, dass 14 Lehrkräfte ihren Elektrizitätslehreunterricht mit dem Inhalt „Elektrostatik“ und 16 Lehrkräfte den Unterricht mit dem Inhalt „einfacher Stromkreis“ begannen, weitere zwei Lehrkräfte starteten mit dem Inhalt „elektrische Energie“. Von den 14 Lehrkräften, die mit dem Inhalt „Elektrostatik“ begannen, behandelten zwölf Lehrkräfte danach den „einfachen Stromkreis“. Acht dieser zwölf Lehrkräfte haben in Österreich unterrichtet. Von den 16 Lehrkräften, die zuerst den „einfachen Stromkreis“ thematisiert haben, haben vier Lehrkräfte danach den Inhalt „Elektrostatik“ als zentralen Inhalt der Unterrichtsstunde angeführt. Drei dieser Lehrkräfte unterrichteten in Bayern.

Nach diesem in Abbildung 69 als Einführungsblock bezeichneten Inhalten haben zwölf der 32 Lehrkräfte „Reihen- und Parallelschaltungen“ thematisiert. Nach diesem Inhalt führten wiederum elf dieser zwölf Lehrkräfte die „Grundgrößen“ ein. Sieben dieser elf Lehrkräfte thematisierten danach das „Ohm'sche Gesetz“. Nach dem Einführungsblock behandelten 15 Lehrkräfte die „Grundgrößen“. Von diesen 15 Lehrkräften thematisierten zehn Lehrkräfte den Inhalt „Ohm'sches Gesetz“, weitere vier Lehrkräfte behandelten „Reihen- und Parallelschaltungen“. Von diesen vier Lehrkräften behandelte eine Lehrkraft danach das „Ohm'sche Gesetz“. Von den zehn Lehrkräften, die nach den „Grundgrößen“ das „Ohm'sche Gesetz“ thematisiert haben, behandelten vier Lehrkräfte danach „Reihen- und Parallelschaltungen“.

Weitere drei Lehrkräfte führten nach dem Einführungsblock die Grundgröße „elektrische Stromstärke“ ein, danach wurden „Reihen- und Parallelschaltungen“ thematisiert und dann wurde die Grundgröße „elektrische Spannung“ definiert. Diese drei Lehrkräfte thematisierten danach das „Ohm’sche Gesetz“.

Im nächsten Schritt wird schließlich noch die Abfolge der Definitionen der Grundgrößen „elektrische Stromstärke“ und „elektrische Spannung“ näher untersucht. Dazu ist in Tabelle 37 dargestellt, ob die Lehrkräfte in ihrem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht zuerst die elektrische Stromstärke oder die elektrische Spannung thematisiert oder ob sie diese in derselben Unterrichtsstunde thematisiert haben. Zusätzlich ist aufgeführt, in welchem zeitlichen Abstand diese Begriffe thematisiert bzw. als Größen eingeführt wurden.

Tabelle 37: Zeitliche Reihenfolge der Definition der Grundgrößen „elektrische Spannung“ und „elektrische Stromstärke“ im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht der Lehrkräfte. Δt steht dabei für den zeitlichen Unterschied der Einführung der beiden Grundgrößen gemessen in Unterrichtsstunden. X steht für den Fall, dass die beiden Grundgrößen nicht thematisiert wurden.

Abfolge	Anzahl Lehrkräfte	$M_{\Delta t}$	$SD_{\Delta t}$	$Min_{\Delta t}$	$Max_{\Delta t}$
U vor I	9	2	2	1	8
I vor U	12	3,2	2,8	1	9
I mit U	10				
X	1				

Aus Tabelle 37 wird ersichtlich, dass es keine generelle Präferenz dafür gibt, in welcher Reihenfolge die Lehrkräfte die beiden Grundgrößen elektrische Stromstärke und elektrische Spannung thematisiert haben, am häufigsten wurde jedoch die elektrische Stromstärke vor der elektrischen Spannung thematisiert, insgesamt bei zwölf der 32 Lehrkräfte. Auffallend ist auch der relativ große zeitliche Unterschied: Die beiden Grundgrößen wurden zumindest von zwei Lehrkräften in einem Abstand von acht oder neun Unterrichtsstunden thematisiert.

8.2.3 Eingesetzte Analogiemodelle im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht

In diesem Kapitel wird beschrieben, welche Analogiemodelle die Lehrkräfte in ihrem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht eingesetzt haben, inwiefern diese durchgängig über mehrere Unterrichtsstunden hinweg verwendet wurden und für welche Inhalte die Analogiemodelle herangezogen wurden.

Insgesamt haben 25 der 32 Lehrkräfte (78 %) zumindest ein Analogiemodell in ihrem Anfangs-Elektrizitätsunterricht eingesetzt. Dabei wurde auf acht unterschiedliche Analogiemodelle zurückgegriffen. In Tabelle 38 ist dargestellt, welche Analogiemodelle dies waren.

Es zeigt sich, dass beinahe zwei Drittel (62,5 %) der Lehrkräfte eine Wasserkreislauf-Analogie in ihrem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht einsetzen, gefolgt von einer Analogie zu Verkehr bzw. Menschen/SchülerInnen, die durch Türen gehen und der Fahrradkettenanalogie (jeweils 15,6 %). Eine Lehrkraft setzte das von Gleixner (1998) entwickelte Stäbchenmodell ein, eine Lehrkraft arbeitete in Teilen bereits mit dem Frankfurter Elektronengasmodell (Burde, 2018).

Tabelle 38: Eingesetzte Analogiemodelle aller Lehrkräfte der Stichprobe.

Analogiemodell	Häufigkeit	Prozent
Wasserkreislauf	20	62,5%
Aufgeteilter Verkehr/Menschen	5	15,6%
Fahrradkette	5	15,6%
Wassertanks	4	12,5%
Rucksackmodell/Bienenmodell	3	9,4%
Analogie zu Wärmetransport	2	6,3%
Elektronengasmodell	1	3,1%
Stäbchenmodell	1	3,1%

Außerdem wird aus Tabelle 38 ersichtlich, dass einige Lehrkräfte auch mehr als ein Analogiemodell in ihren Elektrizitätslehreunterricht eingebunden haben. 14 der 32 Lehrkräfte setzten ein Analogiemodell ein – in 12 dieser 14 Fälle war dies die Wasserkreislaufanalogie. Sieben der 32 Lehrkräfte setzten zwei unterschied-

liche Analogiemodelle ein – in fünf dieser sieben Fälle war die Wasserkreislaufanalogie eine der beiden. Vier weitere Lehrkräfte setzten drei unterschiedliche Analogiemodelle ein, wobei alle eine Wasserkreislaufanalogie eingesetzt haben. Eine Lehrkraft verwendete in ihrem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht vier unterschiedliche Analogiemodelle – auch hier war die Wasserkreislaufanalogie eine davon.

8.2.3.1 Eingesetzte Analogiemodelle im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht des Samples in Bayern, Hessen und Österreich

In Hinblick auf die unterschiedlichen Standorte zeigt sich, dass die Lehrkräfte in Bayern relativ gesehen häufiger eine Wasserkreislaufanalogie eingesetzt haben als die Lehrkräfte in Hessen und Österreich. Dies gilt auch für eine Wassertankanalogie, die von den Lehrkräften in Hessen und Österreich gar nicht eingesetzt wurde (siehe Tabelle 39). Dafür setzten einige hessische Lehrkräfte eine Analogie zum Wärmetransport in Materialien ein, welche in Bayern und Österreich von keiner der Lehrkräfte eingesetzt wurde. Von den österreichischen Lehrkräften setzten relativ betrachtet mehr Lehrkräfte eine Fahrradkettenanalogie ein, die im Vergleich dazu von keiner bayrischen Lehrkraft eingesetzt wurde.

Insgesamt zeigt sich also auch für den Einsatz von Analogiemodellen ein eher heterogenes Bild, wobei die Wasserkreislaufanalogie sowohl insgesamt gesehen als auch auf die jeweiligen Standorte bezogen eine zentrale Rolle einnimmt. Wurden weitere Analogiemodelle eingesetzt, so wurden diese meist zusätzlich zur Wasserkreislaufanalogie verwendet.

Tabelle 39: Eingesetzte Analogiemodelle der Lehrkräfte aufgeteilt nach Bayern, Hessen und Österreich. Die Prozentzahl bezieht sich dabei auf den jeweiligen Standort.

	Bayern	Hessen	Österreich
Analogiemodell	%	%	%
Wasserkreislauf	75%	57,1%	60%
Aufgeteilter Verkehr/Menschen	12,5%	14,3%	13,3%
Fahrradkette	0%	14,3%	26,7%
Wassertanks	25%	0%	0%
Rucksackmodell/ Bienenmodell	12,5%	14,3%	6,7%
Analogie zu Wärmetransport	0%	28,6%	0%
Elektronengasmodell	0%	0%	6,7%
Stäbchenmodell	0%	0%	6,7%
Kein Analogiemodell	25%	0%	33,3%

8.2.3.2 Intensität der Verwendung von Analogiemodellen im Anfangs-Elektrizitätsunterricht

In diesem Kapitel wird abschließend dargestellt, in welchem zeitlichen Ausmaß die Lehrkräfte Analogiemodelle in ihrem Unterricht einsetzen. Außerdem wird dargestellt, für welche Inhalte die Lehrkräfte Analogiemodelle verwendeten.

Um zu analysieren, in welchem zeitlichen Ausmaß die Lehrkräfte Analogiemodelle eingesetzt haben, wurde jeweils gezählt, in wie vielen Unterrichtsstunden der Lehrkraft das jeweilige Analogiemodell eingesetzt wurde. Hat eine Lehrkraft zum Beispiel zwei unterschiedliche Analogiemodelle in ihrem Unterricht eingesetzt, so wurde für jedes Analogiemodell separat analysiert, in welchem Umfang das jeweilige Analogiemodell eingesetzt wurde.

Insgesamt zeigt sich dabei, dass Analogiemodelle meistens in einer einzelnen Stunde für die Thematisierung eines bestimmten Inhaltes verwendet wurden. Insgesamt wurden Analogiemodelle in 41 Fällen im Sinne einer Kodierung auf Basis des Unterrichtslogbuchs eingesetzt (siehe Kapitel 7.6.3). Von diesen 41 Fällen wurden Analogiemodelle in 24 Fällen in einer einzelnen Unterrichtsstunde thematisiert, in elf Fällen in zwei Unterrichtsstunden und in vier Fällen in drei Unterrichtsstunden. Es gab lediglich zwei Fälle, in denen ein Analogiemodell über

mehr als drei Unterrichtsstunden hinweg thematisiert wurde: Eine Lehrkraft arbeitete über sieben Unterrichtsstunden hinweg mit der Fahrradkettenanalogie, eine weitere Lehrkraft arbeitete über acht Stunden hinweg mit dem Münchner Stäbchenmodell.

8.2.3.3 Zweck der Verwendung von Analogiemodellen im Anfangs-Elektrizitätsunterricht

Als letzte Frage soll geklärt werden, für welche Inhalte Analogiemodelle im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht der teilnehmenden Lehrkräfte eingesetzt wurden. Um diese herauszufinden, wurde die Anzahl der Überschneidungen der Analogiemodell-Kodierungen mit den jeweiligen Sachstruktur-Kategorien (siehe Kapitel 7.6.3 für die Kategoriensysteme) in einer bestimmten Unterrichtsstunde gezählt. In den Logbüchern war zwar nicht vermerkt, dass die Inhalte anhand der Analogiemodelle eingeführt wurden. Es wird jedoch an dieser Stelle zumindest angenommen, dass das Analogiemodell in einer sachlogischen Verbindung zum jeweiligen thematisierten Inhalt dieser Unterrichtsstunde steht.

Die Analyse der Codeüberschneidungen der jeweiligen Unterrichtslogbücher ergibt, dass Analogiemodelle vor allem für die Einführung der Grundbegriffe „elektrische Spannung“ (15 Überschneidungen), „elektrische Stromstärke“ (13 Überschneidungen) und „elektrischer Widerstand“ (10 Überschneidungen) eingesetzt werden. Als zweiter wesentlicher Einsatzbereich von Analogiemodellen kann die explizite Thematisierung des „einfachen Stromkreises“ (14 Überschneidungen) sowie der „Modellvorstellung von elektrischem Strom“ (10 Überschneidungen) gesehen werden. Für die übrigen Inhalte wurden maximal drei Überschneidungen gefunden. Hervorzuheben ist zusätzlich, dass der Inhalt „elektrisches Potenzial“ immer anhand eines Analogiemodells thematisiert wurde.

9 Beantwortung und Diskussion der Forschungsfragen

In diesem Abschnitt werden die in Kapitel 6.3 formulierten Forschungsfragen anhand der in Kapitel 8 präsentierten Ergebnisse dieser Dissertationsstudie beantwortet und mit bisherigen Forschungsergebnissen in Beziehung gesetzt.

9.1 Allgemeine Limitationen dieser Dissertationsstudie

Bevor die Ergebnisse dieser Studie hinsichtlich der formulierten Forschungsfragen interpretiert werden, müssen an dieser Stelle einige allgemeine Limitationen angeführt und diskutiert werden. Weitere Limitationen, die sich auf die Beantwortung konkreter Forschungsfragen beziehen, werden in den jeweiligen Abschnitten dieses Kapitels angeführt.

Die Stichprobe dieser Studie stellt gewissermaßen eine Positivauswahl dar, denn die Auswahl der Lehrkräfte erfolgte durch eine freiwillige Teilnahme am Gesamtprojekt EPo-EKo. Lehrkräfte, die an diesem Projekt teilnehmen, könnten also im Vergleich zum Durchschnitt aller Lehrkräfte in Bayern, Hessen und Österreich eine höhere Motivation für die Weiterentwicklung ihres eigenen Unterrichts aufweisen und damit verbunden eine höhere Innovationsbereitschaft. Das Projekt EPo-EKo wurde an allen Standorten breitenwirksam beworben. Dennoch ist nicht auszuschließen, dass sich vor allem Lehrkräfte für das Projekt gemeldet haben, die eine gewisse Nähe zur Fachdidaktik und fachdidaktischen Forschung aufweisen. In der Lehramtsausbildung bzw. als FachleiterInnen sind jedoch nur zwei Lehrkräfte tätig. Die Auswahl der Lehrkräfte beschränkt sich zudem auf Lehrkräfte, die zum Zeitpunkt der Studiendurchführung in Hessen, Bayern oder Österreich unterrichteten.

Als eine weitere mögliche Limitation dieser Dissertationsstudie kann die Studiendurchführung selbst gesehen werden. Die teilnehmenden Lehrkräfte wurden gebeten, ihren Elektrizitätslehreunterricht so durchzuführen, wie das typischerweise der Fall ist. Dennoch bleibt die Möglichkeit, dass die Lehrkräfte ihren Elektrizitätslehreunterricht nach einer vermeintlichen Erwünschtheit adaptierten oder vergleichsweise höheren Aufwand für die Unterrichtsvorbereitung und -durchführung aufbrachten.

Aufgrund dieser Positivauswahl kann a priori kein Anspruch auf eine Generalisierbarkeit dieser Ergebnisse auf den gesamten Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht in Hessen, Bayern und Österreich oder darüber hinausgestellt werden.

Für die Beantwortung von Forschungsfrage 1, 2 und 3 lassen sich weitere Limitationen festhalten: Dazu ist an erster Stelle die fehlende Erhebung von Aspekten unterrichtlichen Handelns der Lehrkräfte oder deren Unterrichtsqualität zu nennen. Im Sinne der Wirkkette schulischer Bildung (Terhart, 2012) können Lehrkräfteresourcen keine direkten Wirkungen auf Schülerseite ausüben, sondern nur indirekt über die Qualität des Unterrichts.

Aus rechtlichen, ökonomischen, aber auch geographischen Gründen konnte diese notwendige Zwischenebene des Unterrichtshandelns in dieser Dissertationsstudie nicht abgebildet werden, sodass in der Betrachtung mittels Mehrebenenanalysen auch mögliche medierte Effekte verborgen bleiben oder mögliche Zusammenhänge verrauschen können. Bedingt durch das gewählte Studiendesign werden anhand von Forschungsfrage 1 bis 3 korrelative, nicht aber kausale Zusammenhänge untersucht, da der Einfluss von konfundierenden Variablen oder Störvariablen nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann (Bortz & Döring, 2015). Die Tatsache, dass sich die Unterrichtszeit nicht als signifikanter Prädiktor fachlichen Lernens herausstellte, weist zudem darauf hin, dass sich die Unterrichtszeit von der Zeit kognitiver Aktivierung im Unterricht unterschied.

Zudem stellt einen weiteren, nicht zu vernachlässigenden, Faktor in Bezug auf die interne Validität dieser Dissertationsstudie die Personenreliabilität des Fachwissenstests für die SchülerInnen dar ($Rel_{prä} = .48$ / $Rel_{post} = .64$). Zwar wird im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht der teilnehmenden Lehrkräfte ein Lernzuwachs erzielt (siehe Kapitel 7.5.1), der Anteil an der Varianz zwischen den Klassen liegt im Mehrebenenmodell wie in Kapitel 7.3.2 beschrieben jedoch nur bei 13 % und wurde nach Berücksichtigung der angeführten Variablen auf 6% reduziert. Aufgrund der starken Fokussierung dieser Dissertation im Sinne der ausgewählten Lehrkräftemerkmale sind diese Werte jedoch auch erwartungsgemäß und liegen bei ähnlichen Studien in einem vergleichbaren Bereich (z. B. Cauet, 2016; Fischer et al., 2014).

Die Personenreliabilität des TSPK-Testinstruments (.74), der Skala epistemologische Vorstellungen (.68) für die Lehrkräfte sowie die Skala zur Selbstwirksam-

keitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen (.73) können als zufriedenstellend bezeichnet werden. Die Schätzungen der Personenfähigkeiten der Lehrkräfte sind dennoch durchaus mit einer ernst zu nehmenden Zufallskomponente behaftet. Derartige Fehler führen in der Regel eher zu einer Unterschätzung von Zusammenhängen (vgl. z. B. Rost, 2010). Für eine Analyse mittels Mehrebenenmodellen konnten Woodhouse, Yang, Goldstein und Rasbash (1996) etwa zeigen, dass vor allem die Varianz zwischen den Klassen als Anteil an der Gesamtvarianz sogar bei Reliabilitätswerten von .85 deutlich unterschätzt wird. Eventuelle Messungenauigkeiten in den Prädiktorvariablen (sowohl auf Schüler- als auch Lehrkräfteebene) können jedoch sowohl zu einer Unter- als auch Überschätzung von Zusammenhängen führen, wie z. B. Kromrey et al. (2006) im Zuge einer Monte-Carlo-Studie zeigen konnten.

Das TSPK der Lehrkräfte wurde durch die beiden Facetten *Wissen über Instruktionsstrategien* und *Wissen über Schülervorstellungen* operationalisiert. Die formulierten Hypothesen zum TSPK der Lehrkräfte beziehen sich dementsprechend immer auf Wissen zu diesen beiden Facetten. Es ist denkbar und sogar wahrscheinlich, dass sich bei einer anderen Operationalisierung (zum Beispiel durch die Aufnahme der Facette *Kontext und Interesse*) des TSPK der Lehrkräfte andere Ergebnisse finden lassen.

Nach dieser Beschreibung der globalen Limitationen dieser Dissertationsstudie wird in Kapitel 9.2 anhand von Forschungsfrage 1 beantwortet, inwiefern sich das TSPK und die epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte als positive Prädiktoren für den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht herausstellen.

In Kapitel 9.3 wird beantwortet, welche Lehrkräftemerkmale in dieser Studie einen Zusammenhang mit der Entwicklung des Fachinteresses der SchülerInnen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht aufweisen (Forschungsfrage 2).

Kapitel 9.4 widmet sich der Beantwortung von Forschungsfrage 3, anhand derer erörtert wird, welche in dieser Studie erhobenen Lehrkräftemerkmale sich als Prädiktoren für die Entwicklung des physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht herausstellen.

In Kapitel 9.5 wird schließlich anhand von Forschungsfrage 4 dargestellt, inwiefern sich ein traditioneller Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht für den Unterricht der Lehrkräfte dieses Samples beschreiben lässt.

9.2 Lehrkräftemerkmale und fachlicher Lernerfolg der SchülerInnen

In diesem Abschnitt werden die empirischen Ergebnisse dieser Dissertation mit den in Kapitel 6.3 formulierten Hypothesen sukzessive in Beziehung gesetzt. An dieser Stelle wird noch einmal Forschungsfrage 1 in Erinnerung gerufen:

F1: Welche (korrelativen) Zusammenhänge bestehen zwischen dem erhobenen TSPK (*Wissen über Schülervorstellungen und Instruktionsstrategien*), den erhobenen epistemologischen Vorstellungen von Physiklehrkräften sowie der Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen und dem fachlichen Lernerfolg von SchülerInnen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht?

Die erste zu überprüfende Hypothese lautet:

H1.1: Unterschiede im fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht werden (nach Kontrolle der angeführten Variablen) signifikant durch Unterschiede im TSPK zur Anfangs-Elektrizitätslehre der Lehrkräfte erklärt.

Anhand der in Kapitel 8.1.2 und 8.1.3 dargestellten Ergebnisse muss diese Hypothese in einer Gesamtbetrachtung der vorliegenden Stichprobe abgelehnt werden. Das TSPK der Lehrkräfte (*Wissen über Schülervorstellungen und Wissen über Instruktionsstrategien*) zum Inhaltsbereich Anfangselektrizitätslehre stellt in dieser Betrachtung keinen signifikanten Prädiktor für fachliche Leistungen im Post-Test der SchülerInnen dar ($KI_{95\%}[-0.07,0.25]$). Anhand der in Kapitel 9.1 beschriebenen Limitationen dieser Studie kann dieses Ergebnis auf mehrere mögliche Faktoren zurückgeführt werden. Durch das studiendesignbedingte Fehlen der Erhebung von Aspekten unterrichtlicher Handlungen der Lehrkräfte können keine Aussagen über die unterrichtliche Qualität getätigt werden. Durch die Untersuchung dieses indirekten Zusammenhangs zwischen dem TSPK der Lehrkräfte und fachlichen Schülerleistungen können mögliche Effekte nicht aufgedeckt bzw. auch mögliche medierte Effekte nicht betrachtet werden. Es könnte

sein, dass sich das TSPK der Lehrkräfte zwar positiv auf die Unterrichtsqualität auswirkt und die Unterrichtsqualität einen positiven Einfluss auf den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen zeigt, aber dieser Effekt in einer Betrachtung des Zusammenhangs zwischen TSPK und fachlichem Lernerfolg nicht beobachtbar ist.

In einer weiteren Betrachtung zeigen sich für den Zusammenhang des TSPK der Lehrkräfte mit dem fachlichen Lernerfolg dennoch zwei erwähnenswerte Effekte. In dem in Tabelle 29 oder Abbildung 60 dargestellten Modell zeigt sich ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen dem TSPK und den Dienstjahren der Lehrkräfte. Das TSPK der Lehrkräfte stellt in diesem Modell zusätzlich einen signifikant positiven Prädiktor für den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen dar, jedoch abhängig von der Ausprägung der Dienstjahre der Lehrkräfte. In einer weiterführenden getrennten Betrachtung der „dienstjüngeren Lehrkräfte“ (Dienstjahre < 10) sowie der „dienstälteren Lehrkräfte“ (Dienstjahre > 9) zeigen sich zwei wesentliche Ergebnisse. Für die dienstjüngeren Lehrkräfte stellt das TSPK der Lehrkräfte einen signifikanten Prädiktor für den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen dar ($KI_{95\%}[0.00, 0.40]$), nicht jedoch die Anzahl der Dienstjahre ($KI_{95\%}[-0.21, 0.26]$). Für die dienstälteren Lehrkräfte zeigt sich kein signifikanter Zusammenhang des TSPK mit fachlichen Leistungen der SchülerInnen im Post-Test. Es besteht jedoch ein positiver Zusammenhang zwischen der Anzahl an Dienstjahren der Lehrkräfte und dem fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen ($KI_{95\%}[0.00, 0.05]$).

Vor einer weiterführenden Interpretation und Diskussion dieser Ergebnisse lassen sich auch hier einige relevante Limitationen formulieren. Durch das Aufspalten der gesamten Stichprobe von 41 Klassen in 20 und 21 Klassen lassen sich an erster Stelle methodische Limitationen anführen. Wie in Kapitel 7.3.2 angeführt liegt die Anzahl an Ebene-2-Einheiten für beide Sub-Samples unter der in der Literatur oft als untere Grenze angeführten Anzahl von 30 Ebene-2-Einheiten. Durch die Verkleinerung der Stichprobe verringert sich also vor allem die Robustheit der Ergebnisse.

Vor diesem Hintergrund können die hier berichteten Ergebnisse dementsprechend aus methodischer Sicht lediglich als Hinweise für zukünftige Forschungsprojekte gesehen werden, als eine Bestätigung der oben genannten Hypothese für das Sub-Sample der dienstjüngeren Lehrkräfte jedoch nicht.

Für die dienstjüngeren Lehrkräfte stellt sich das TSPK der Lehrkräfte als signifikanter Prädiktor heraus. Da sich diese Wissensbasis vor allem auf kanonisches Wissen bezieht, welches auch Teil der Lehramtsausbildung in Deutschland und Österreich ist oder zumindest sein sollte, lässt sich daraus eine gewisse Wirksamkeit der Lehramtsausbildung ableiten, da davon ausgegangen wird, dass sich das TSPK indirekt über die Qualität des Unterrichts auf die fachlichen Leistungen der SchülerInnen auswirkt. Außerdem sprechen die Ergebnisse auch für eine gewisse prädiktive Validität des eingesetzten Testinstruments – wenn auch nur für die dienstjüngeren Lehrkräfte.

Dass der positive Einfluss des TSPK der Lehrkräfte auf den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen für die dienstälteren Lehrkräfte verschwindet, lässt einige Vermutungen zu, die Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein sollten. Denn anhand der Ergebnisse dieser Studie kann nicht beantwortet werden, warum sich der positive Zusammenhang in diesem Sub-Sample nicht zeigt. Dieses Verschwinden des Effekts kann darin begründet sein, dass die dienstälteren Lehrkräfte schlichtweg anders ausgebildet wurden. Unter anders ist in diesem Fall gemeint, dass sich zum Beispiel der Anteil sowie die Ausgestaltung der fachdidaktischen Ausbildung an den Universitäten geändert hat, oder dass die Schwerpunkte in der Ausbildung anders gesetzt werden. Für diese dienstälteren Lehrkräfte kann die Vermutung aufgestellt werden, dass die Beziehung zwischen dem TSPK der Lehrkräfte und der unterrichtlichen Qualität nicht so stark ausgeprägt ist. Die Unterteilung in weniger oder mehr als zehn Dienstjahre fällt zudem ungefähr zeitgleich zur Einführung von naturwissenschaftlichen Kompetenzmodellen oder der Kompetenzorientierung im Allgemeinen in Deutschland und etwas später in Österreich zusammen. Eine mögliche Erklärung könnte also auch darin gesucht werden, dass der Unterricht von Lehrkräften, die nach der Einführung einer Kompetenzorientierung ausgebildet wurden, auch eher kompetenzorientiert gestaltet ist. Wie stark diese Kompetenzorientierung ausgeprägt ist, könnte wiederum vom TSPK der Lehrkräfte abhängen. Eine weitere mögliche Begründung könnte darin liegen, dass die dienstälteren Lehrkräfte auf ihr Wissen nicht in der Art und Weise, wie es in einem schriftlichen Testinstrument abgefragt wird, zurückgreifen können.

Eine weitere mögliche Erklärung der Ergebnisse stellt die kanonische Natur des TSPK selbst dar. Denkbar ist folgendes Szenario: Eine Physiklehramtsstudierende eignet sich im Laufe ihres Studiums ein gewisses Maß an TSPK an. Danach absolviert sie das Referendariat und/oder Unterrichtspraktikum. Bei der Planung ihres Unterrichts greift sie dabei vor allem auf das Wissen zurück, welches sie sich im Laufe ihres Studiums angeeignet hat, insbesondere auf ihr TSPK. Die Unterrichtsqualität ist zu diesem Zeitpunkt also (auch) von der Unterrichtsplanung abhängig (Stender, Brückmann & Neumann, 2017), die unter Zugriff auf das TSPK erfolgt. Nach einigen Jahren entwickelt diese Person jedoch für die gängigen Themengebiete, zu denen mit Sicherheit auch die Anfangs-Elektrizitätslehre zählt, einen gewissen Fundus an vorgefertigten Unterrichtsplanungen und Unterrichtsskripten, sie entwickelt ihren in Kapitel 5.1 angesprochenen individuellen Lehrplan. Für ihre Unterrichtsplanung und -gestaltung muss diese Lehrkraft also nicht mehr auf kanonisches Wissen wie TSPK zurückgreifen, sondern vielmehr auf implizites, im TPK&S Modell als personal PCK bezeichnetes, Wissen. Die Unterrichtsqualität ist zu diesem Zeitpunkt also weiterhin (auch) von der Unterrichtsplanung abhängig, diese erfolgt jedoch unter geringem Zugriff auf das TSPK der Lehrkräfte.

Natürlich entwickeln Personen auch während der Lehramtsausbildung derartiges personal PCK (ePCK im RCM), es ist aber davon auszugehen, dass sich dieses wie in diesem Abschnitt angedeutet verändert. Das am Beginn einer Lehrerkarriere wichtige TSPK könnte dadurch also zu tragem Wissen transformiert und deshalb auch vergessen werden.

Die zweite zu überprüfende Hypothese lautet:

H1.2: Unterschiede im fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht werden (nach Kontrolle der angeführten Variablen) signifikant durch Unterschiede in den epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte erklärt.

Anhand der in Kapitel 8.1.3 dargestellten Ergebnisse lässt sich diese Hypothese weder mit der gewünschten Klarheit bestätigen noch falsifizieren. Unter Berücksichtigung der (empirisch erhobenen) relevanten Kontrollvariablen stellen sich die epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte nicht eindeutig als signifikanter Prädiktor für die fachlichen Leistungen der SchülerInnen im Post-Test

heraus $KI_{95\%}[-0.04,0.30]$. In einer Gesamtbetrachtung des Samples der 32 Lehrkräfte muss diese Hypothese also abgelehnt werden, obwohl sich eine Tendenz in Richtung eines positiven Zusammenhangs erkennen lässt.

Diese Tendenz könnte mit einer weiteren Limitation dieser Dissertation in Verbindung stehen: Im Zuge Der Studie wurde zwar das TSPK zur Anfangs-Elektrozitätslehre der Lehrkräfte erhoben, nicht jedoch das Fachwissen (*CK*) oder erziehungswissenschaftliche Wissen (*PK*) der teilnehmenden Lehrkräfte. Der vermeintliche Einfluss der epistemologischen Vorstellungen könnte (neben der Vernachlässigung von Aspekten des Unterrichtshandelns) genauso gut durch das Vernachlässigen dieser Variablen im Modell konfundiert werden. Markic und Eilks (2008) berichten zum Beispiel, dass besonders Lehramtsstudierende der Physik sehr stark lehrerzentrierte Vorstellungen vom Unterrichtsprozess aufweisen, die wiederum mit einer an der Fachsystematik orientierten Vorgehensweise in Verbindung stehen. In der Studie von Riese (2009), in der dieselbe Skala zu epistemologischen Vorstellungen verwendet wurde wie in dieser Studie, zeigte sich zudem auch eine positive Korrelation von .27 zwischen einer eher konstruktivistischen Vorstellung vom Lernen und dem allgemein pädagogischen Wissen der Lehrkräfte. In zukünftigen Studien sollte also untersucht werden, inwiefern der Einfluss der epistemologischen Vorstellungen von Lehrkräften von ihrem fach- und erziehungswissenschaftlichen Wissen abhängt und ob sich dadurch tatsächlich eine eher an der Fachsystematik orientierte Vorgehensweise im Unterricht ergibt. Letztendlich ist auch nicht gänzlich auszuschließen, dass die verwendete Skala nicht die epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte misst, sondern ein anderes, möglicherweise verwandtes, Konstrukt. Außerdem ist gerade bei der Erhebung von Vorstellungen nicht auszuschließen, dass eine gewisse soziale Erwünschtheit (Stocké, 2004) bei der Beantwortung der Items auftritt.

Als weitere Limitation kann eine fehlende Erhebung der kognitiven Aktivierung der SchülerInnen in exemplarischen Unterrichtsstunden gesehen werden, wie sie zum Beispiel in der Studie von Cauet (2016) durchgeführt wurde. Denn eine eher konstruktivistische Überzeugung der Lehrkräfte scheint vor allem medierend über die kognitive Aktivierung der SchülerInnen auf den unterrichtlichen Erfolg zu wirken (Dubberke, Kunter, McElvany, Brunner & Baumert, 2008; Hartinger et al., 2006).

Hinzu kommt, dass in einer getrennten Betrachtung der Lehrkräfte mit eher geringer (< 10) und eher hoher (> 9) Anzahl an Dienstjahren die Tendenz einer rezeptiven Vorstellung vom Lernen und Lehren hin zu einem positiven Zusammenhang mit der Fachwissensentwicklung der SchülerInnen gänzlich verschwindet.

Die letzte mit dieser Forschungsfrage korrespondierende Hypothese lautet:

H1.3: Unterschiede im fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht werden (nach Kontrolle der angeführten Variablen) signifikant durch Unterschiede in der Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen erklärt.

Auf Basis der in Kapitel 8.1.3 dargestellten Ergebnisse muss diese Hypothese im Zuge dieser Dissertationsstudie abgelehnt werden. Die Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen stellt in dieser Betrachtung keinen signifikanten Prädiktor für fachliche Leistungen im Post-Fachwissenstest der SchülerInnen dar ($KI_{95\%}[-0.18,0.11]$). Anhand der in Kapitel 9.1 beschriebenen Limitationen dieser Studie kann dieses Ergebnis auf mehrere mögliche Faktoren zurückgeführt werden. Es könnte sein, dass sich die Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen im Sinne des Angebots-Nutzungs-Modells zwar positiv auf die Unterrichtsqualität auswirkt (im Sinne einer Adaptivität des Unterrichts an Lernausgangslagen), aber dieser Zusammenhang mit den im Rahmen dieser Studie eingesetzten Testinstrumenten nicht adäquat abgebildet werden kann, sodass sich insgesamt kein positiver Zusammenhang mit der fachlichen Leistung von SchülerInnen ergibt. Zudem war der Anteil an möglicher Varianzaufklärung für den Fachwissenstest im Vergleich zum Fachinteresse und physikbezogenen Selbstkonzept der SchülerInnen eher gering.

9.3 Lehrkräftemerkmale und Entwicklung des Fachinteresses der SchülerInnen

In diesem Abschnitt wird die in Kapitel 6.3.2 formulierte Forschungsfrage anhand der formulierten Hypothesen beantwortet. Die konkrete Formulierung dieser Forschungsfrage lautet:

F2: Welche (korrelativen) Zusammenhänge bestehen zwischen den erhobenen epistemologischen Vorstellungen, dem TSPK der Lehrkräfte (*Wissen über Schülervorstellungen und Instrukionsstrategien*) sowie der Selbstwirksamkeit im Handlungsfeld Schülervorstellungen der Lehrkräfte und der Entwicklung des Fachinteresses von SchülerInnen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht?

Die erste formulierte Hypothese lautet:

H2.1: Unterschiede im Fachinteresse der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht werden (nach Kontrolle der angeführten Variablen) nicht durch Unterschiede im TSPK der Lehrkräfte erklärt.

Anhand der in Kapitel 8.1.4 dargestellten Ergebnisse kann diese Hypothese H2.1 bestätigt werden. Anzumerken ist, dass die Formulierung dieser Hypothese vor dem Hintergrund der gewählten Operationalisierung des TSPK (*Wissen über Schülervorstellungen und Wissen über Instrukionsstrategien*) geschah. Diese Ergebnisse sind dementsprechend in Übereinstimmung mit bisher durchgeführten Studien aus der Mathematik (Kunter et al., 2013) und Physik (Keller et al., 2017) und lassen sich auch für eine länderübergreifende Betrachtung bestätigen. An dieser Stelle muss jedoch angemerkt werden, dass sich bei einer Auswahl anderer Facetten (z. B. *Interesse und Kontexte*, siehe Kapitel 2.1.1) des TSPK der Lehrkräfte jedoch sehr wahrscheinlich andere Ergebnisse finden lassen würden.

Die zweite in Bezug auf Forschungsfrage 2 formulierte Hypothese lautet:

H2.2: Unterschiede im Fachinteresse der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht werden (nach Kontrolle der angeführten Variablen) signifikant durch Unterschiede in den epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte erklärt.

Anhand der in Kapitel 8.1.4 dargestellten Ergebnisse kann diese Hypothese bestätigt werden. Eine eher rezeptive Vorstellung vom Lernen und Lehren in Physik

(also eine höhere Ausprägung in der Variable epistemologische Vorstellungen) stellt einen signifikant negativen Prädiktor für das Fachinteresse der SchülerInnen in der Post-Erhebung dar ($KI_{95\%}[-0.49, -0.01]$).

Diese Bestätigung von Hypothese H2.2, also der Zusammenhang zwischen den epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte und der Entwicklung des Fachinteresses der SchülerInnen, muss vor dem Hintergrund der ausreichenden aber nicht restlos zufriedenstellenden Personenreliabilität der Skala von .68 getätigt werden. Hinzu kommen die in Kapitel 9.2 formulierten Bedenken in Bezug auf die Validität der eingesetzten Skala. Zudem wurde im Zuge der eingesetzten Skala nur ein sehr spezielles Teilkonstrukt der Belief-Klasse epistemologische Vorstellungen erhoben und in der Analyse einbezogen. Auch hier sind unterschiedliche Ergebnisse für eine andere Fokussierung innerhalb dieses Konstrukts denkbar.

Inhaltlich kann dieses Ergebnis derart interpretiert werden: Eine hohe Ausprägung der Physiklehrkräfte in der Skala epistemologische Vorstellungen korrespondiert mit einer eher rezeptiven Auffassung vom Lernen und Lehren von Physik. Es kann also sein, dass der Unterricht einer Lehrkraft mit einer hohen Ausprägung dieser Variable eine eher an der Fachsystematik orientierte Struktur aufweist im Vergleich zu einem kontextstrukturierten oder um Kontexte und Anwendungsbereiche angereicherten Unterricht. Zudem könnte mit einer eher transmissiven Vorstellung vom Lernen und Lehren auch eine sehr enge Klassenführung einhergehen, sodass der Unterricht von SchülerInnen als monoton empfunden wird, welcher wiederum eine negative Fachinteressensentwicklung beeinflusst.

Die dritte Hypothese bezugnehmend auf Forschungsfrage 2 lautet:

H2.3: Unterschiede im Fachinteresse der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrozitätslehreunterricht werden (nach Kontrolle der angeführten Variablen) signifikant durch Unterschiede in der Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen erklärt.

Anhand der Ergebnisse aus Kapitel 8.1.4 kann diese Hypothese H2.3 bestätigt werden. Die Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen stellt einen signifikant positiven Prädiktor für die Entwick-

lung des Fachinteresses der SchülerInnen über den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht hinweg dar ($KI_{95\%}[0.07, 0.51]$). Zusätzlich stellt diese Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte einen signifikanten Prädiktor für die (zwischen den Schulklassen variierende) Beziehung zwischen dem physikbezogenen Selbstkonzept der SchülerInnen vor und dem Fachinteresse der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht dar ($KI_{95\%}[0.01, 0.16]$). Dieser Cross-Level Interaktionseffekt ist jedoch mit großer Vorsicht zu interpretieren, da in der Literatur oftmals eine untere Grenze von 50 Ebene-2-Einheiten vorgeschlagen wird, um derartige Interaktionseffekte robust schätzen zu können.

Für eine positive Fachinteressensentwicklung von SchülerInnen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht scheint es also nicht so relevant zu sein, ob die unterrichtende Lehrkraft Wissen über gängige Schülervorstellungen aufweist, sondern vielmehr, ob diese sich dahingehend selbstwirksam wahrnimmt, bei der Planung und Durchführung von Unterricht auf Schülervorstellungen einzugehen. Eine mögliche Interpretation dafür ist, dass Physiklehrkräfte mit einer hohen Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen einen eher schülerorientierten Unterricht gestalten, der sich neben den Vorstellungen auch an den Interessen der SchülerInnen orientiert. Ein derartiger Unterricht beeinflusst wiederum eine positive Fachinteressensentwicklung der SchülerInnen. Diese Interpretation wird zusätzlich dadurch gestützt, dass die Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte auch einen signifikant positiven Prädiktor für die Beziehung zwischen dem physikbezogenen Selbstkonzept und der Fachinteressensentwicklung der SchülerInnen darstellt. In Studien konnte gezeigt werden, dass das akademische Selbstkonzept einen Einfluss auf die Motivation von SchülerInnen aufweist (Guay, Ratelle, Roy & Litalien, 2010). Darauf aufbauend könnte eine mögliche Interpretation des hier beschriebenen Interaktionseffekts darin liegen, dass sich das physikbezogene Selbstkonzept in einem eher schülerorientierten Unterricht positiv auf die Motivation der SchülerInnen auswirkt, welche die Entwicklung des Fachinteresses positiv beeinflusst. Die Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen könnte wiederum eine Schülerorientierung des Unterrichts begünstigen.

9.4 Lehrkräftemerkmale und Entwicklung des physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen

In diesem Abschnitt wird die in Kapitel 6.3.3 formulierte Forschungsfrage anhand der formulierten Hypothesen beantwortet. Die konkrete Formulierung dieser Forschungsfrage lautete:

F3: Welche (korrelativen) Zusammenhänge bestehen zwischen den erhobenen epistemologischen Vorstellungen, dem TSPK der Lehrkräfte (*Wissen über Schülervorstellungen und Instrukionsstrategien*) sowie der Selbstwirksamkeit im Handlungsfeld Schülervorstellungen der Lehrkräfte und der Entwicklung des physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht?

Die erste formulierte Hypothese für Forschungsfrage 3 lautet:

H3.1: Unterschiede im physikbezogenen Selbstkonzept der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht werden (nach Kontrolle der angeführten Variablen) nicht durch Unterschiede im TSPK der Lehrkräfte erklärt.

Auf Basis der in Kapitel 8.1.5 dargestellten Ergebnisse lässt sich auch diese Hypothese bestätigen. Eine Aufnahme des TSPK der Lehrkräfte zur Anfangs-Elektrizitätslehre in ein Mehrebenenmodell zeigt keine signifikante Verbesserung des Modellfits ($\chi^2(1) = 5.88, p < .0153$) und stellt somit auch keinen signifikanten Prädiktor für die Entwicklung des physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht dar ($KI_{95\%}[-0.32, 0.14]$). Auch für die Bestätigung dieser Hypothese muss angeführt werden, dass dieses Ergebnis unter Berücksichtigung der gewählten Operationalisierung des TSPK zu interpretieren ist. Das Lehrkräfte-Testinstrument enthielt keine Items, die sich auf Strategien zur Förderung des physikbezogenen Selbstkonzepts bezogen.

Die zweite mit dieser Forschungsfrage korrespondierende Hypothese lautet:

H3.2: Unterschiede im physikbezogenen Selbstkonzept der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht werden (nach Kontrolle der angeführten Variablen) signifikant durch Unterschiede in den epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte erklärt.

Auf Basis der in Kapitel 8.1.5 dargestellten Ergebnisse lässt sich diese Hypothese bestätigen. Eine eher rezeptive Vorstellung vom Lernen und Lehren in Physik

(also eine höhere Ausprägung in der Variable epistemologische Vorstellungen) stellt einen signifikant negativen Prädiktor für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen in der Post-Erhebung dar ($KI_{95\%}[-0.49, -0.02]$). Auch an dieser Stelle lässt sich die Personenreliabilität (.68) der Skala der epistemologischen Vorstellungen sowie die Fokussierung auf ausgewählte Teilaspekte des Gesamtkonstrukts als eine Limitation dieser Ergebnisse anführen.

Eine mögliche inhaltliche Interpretation dieser Ergebnisse ist, dass eine eher rezeptive Vorstellung der Lehrkräfte vom Lernen und Lehren von Physik zu einem stark an der Fachsystematik orientierten Unterricht führt. Dieser Unterricht könnte von SchülerInnen als eher unverständlich wahrgenommen werden, wodurch die SchülerInnen ihre Leistungen im Physikunterricht als eher gering einschätzen. Dieser Umstand könnte wiederum zu einer negativen Entwicklung des physikbezogenen Selbstkonzepts beitragen.

H3.3: Unterschiede im physikbezogenen Selbstkonzept der SchülerInnen nach dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht werden (nach Kontrolle der angeführten Variablen) signifikant durch Unterschiede in der Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen der Lehrkräfte erklärt.

Auch diese formulierte Hypothese lässt sich auf Basis der in Kapitel 8.1.5 dargestellten Ergebnisse bestätigen. Die Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen stellt einen signifikanten Prädiktor für die Entwicklung des physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht dar ($KI_{95\%}[0.09, 0.71]$).

Ein mögliches Erklärungsmodell für diese Ergebnisse könnten Studien zu Lehrer-Schüler-Beziehungen liefern. Harter (1999) formuliert zum Beispiel, dass die Beziehung von SchülerInnen zu ihren Lehrkräften das Selbstverständnis der SchülerInnen beeinflussen kann. Sind Lehrkräfte im Unterricht involviert und unterstützend, entwickeln SchülerInnen eher eine positive Selbsteinschätzung. Sind Lehrkräfte hingegen entmutigend, ablehnend oder vernachlässigend, ist es wahrscheinlicher, dass SchülerInnen negative Selbstbilder entwickeln (Harter, 2006). Zudem konnte in unterschiedlichsten Querschnittsuntersuchungen (z. B. Colwell & Lindsey, 2003; Demaray, Malecki, Rueger, Brown & Summers, 2009; Hamre & Pianta, 2001; McFarland, Murray & Phillipson, 2016; Patrick, Mantzicopoulos, Samarapungavan & French, 2008; Verschueren, Doumen & Buyse,

2012) aber auch longitudinalen Studien (Leflot, Onghena & Colpin, 2010) gezeigt werden, dass Schüler-Lehrer-Interaktionen in Zusammenhang mit einem höheren Selbstkonzept von SchülerInnen stehen, insbesondere für das akademische Selbstkonzept.

Es könnte also sein, dass die Selbstwirksamkeit der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen Prädiktoren für eine positive Lehrer-Schüler-Beziehung oder positive Lehrer-Schüler-Interaktionen im Unterricht sind, welche wiederum die Entwicklung des physikbezogenen Selbstkonzepts positiv beeinflusst. Eine hohe Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen könnte also einen eher schülerorientierten Physikunterricht begünstigen, in dem sich SchülerInnen als kompetent wahrnehmen, wodurch eine positive Entwicklung des physikbezogenen Selbstkonzepts begünstigt wird.

9.5 Elemente des sachstrukturellen Angebots der Lehrkräfte

Die übergeordnete Forschungsfrage zu den Elementen der Sachstruktur des Unterrichts der teilnehmenden Lehrkräfte lautet:

F4: Wie lässt sich der Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht in der siebten und achten Jahrgangsstufe der teilnehmenden Lehrkräfte auf globaler Ebene beschreiben?

An dieser Stelle muss noch einmal betont werden, dass alle Ergebnisse dieser Studie vor dem Hintergrund interpretiert werden müssen, dass die Auswahl der Lehrkräfte auf einer freiwilligen Teilnahme an der Studie basierte. Durch diese Positivauswahl, sowohl der Lehrkräfte als auch der nicht zufälligen Auswahl der SchülerInnen, kann demnach nicht davon ausgegangen werden, dass der Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht des Samples tatsächlich den typischen Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht darstellt. Es können also keine Ansprüche für eine Repräsentation des traditionellen Unterrichts in Bayern, Hessen und Österreich gestellt werden. Sehr wohl kann aber exemplarisch anhand des Unterrichts von 32 Lehrkräften aufgezeigt werden, welche Inhalte prinzipiell thematisiert wurden, in welcher Relation zueinander ein Teil dieser Inhalte steht und welche Analogiemodelle die Lehrkräfte eingesetzt haben. Die Ergebnisse dieser Studie

können also erste, wichtige Hinweise für eine Beschreibung der Sachstruktur traditionellen Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts liefern, können jedoch weder für den gesamten deutschsprachigen Raum noch für die teilnehmenden Bundesländer verallgemeinert werden.

Wie bereits in Kapitel 6.3 beschrieben sind die Forschungsfragen zur Sachstruktur des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts explorativer Natur, da dem Autor zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit keine Studien oder Untersuchungen zur Beschreibung des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts in Teilen Deutschlands und Österreichs bekannt sind.

Die eingesetzten Unterrichtslogbücher wurden wie bereits in Kapitel 7.6.1 erläutert bewusst auf die nötigsten Kategorien beschränkt und damit nur grob vorstrukturiert. Dahinter stand die Intention, möglichst viele Lehrkräfte zu motivieren, ihren Unterricht durchgängig zu dokumentieren, in dem auf ein zeitökonomisch und flexibles Vorgehen geachtet wurde.

Daraus resultiert eine weitere prinzipielle Limitation dieser Studie: das Logbuch selbst. Helaakoski und Viiri (2014) führen für die Darstellung von Sachstrukturen mittels Sachstrukturdiagrammen nach Brückmann (2009) an, dass anhand von Sachstrukturdiagrammen eher die Struktur des Unterrichts als die Struktur der fachlichen Inhalte dargestellt wird. Ein analoger Schluss kann auch für die Erhebung sachstruktureller Elemente mittels Unterrichtslogbüchern angeführt werden. Die teilnehmenden Lehrkräfte füllten in einer Selbstauskunft die Schlüsselinhalt der jeweiligen Unterrichtsstunden aus. Daher kann das Argument angeführt werden, dass die in dieser Studie beschriebenen sachstrukturellen Elemente eher die Sachstruktur aus Lehrkräftesicht beschrieben und nicht die Sachstruktur des tatsächlich umgesetzten Unterrichts.

Eine Untersuchung von Sachstrukturelementen mittels Videographie war für diese Dissertationsstudie sowohl aus rechtlicher als auch aus ökonomischer Perspektive nicht möglich. Deshalb stellen Unterrichtslogbücher in Verbindung mit Schülerheften dennoch eine sinnvolle Alternative dar, insbesondere weil Studien eine zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen Unterrichtslogbüchern und videographierten Unterrichtsstunden feststellen konnten (Camburn & Barnes, 2004; Rowan, Camburn & Correnti, 2004).

Insgesamt liefern die Ergebnisse dieser Studie trotz der angeführten Limitationen wichtige erste Hinweise dafür, wie die unterrichtliche Praxis des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts im deutschsprachigen Raum gestaltet wird.

Nach der Thematisierung möglicher Limitation soll in weiterer Folge auf die Ergebnisse zu Forschungsfrage 4 eingegangen werden:

F4: Wie lässt sich der Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht der teilnehmenden Lehrkräfte auf globaler Ebene beschreiben?

F4.1a: Welche Inhalte thematisieren die teilnehmenden Lehrkräfte in ihrem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht?

Die in Kapitel 8.2 dargestellten Ergebnisse stellen die Basis für die Beantwortung dieser Forschungsfrage dar. Zentrale Inhalte des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts, die von jeweils mindestens zwei Drittel der teilnehmenden Lehrkräfte thematisiert wurden, sind: „elektrische Stromstärke“, „elektrische Spannung“, „einfacher Stromkreis“, „Reihen- und Parallelschaltung“, „elektrischer Widerstand“ und das „Ohm’sche Gesetz (siehe Abbildung 64). Diese Inhalte bilden dementsprechend den Kern von real umgesetztem Elektrizitätslehreunterricht in der Jahrgangsstufe sieben und acht der teilnehmenden Lehrkräfte. Auch wenn diese Liste an Inhalten in guter Übereinstimmung mit Lehrplaninhalten ist (siehe Kapitel 5.1), ist dennoch bemerkenswert, dass es keinen einzigen Inhaltsbereich gibt, der von allen Lehrkräften thematisiert wurde.

Bedingt durch die unterschiedlichen Stichprobengrößen sowie die prinzipiell eher kleine Stichprobe innerhalb der unterschiedlichen Standorte können keine interferenzstatistischen Schlüsse gezogen werden. Werden die thematisierten Inhalte in Bezug auf die deutschen Bundesländer Bayern und Hessen sowie Österreich getrennt betrachtet, können dennoch einige Tendenzen der thematisierten Inhalte beschrieben werden. Die größte Übereinstimmung an unterrichteten Schlüsselinhalten kann bei in Bayern unterrichtenden Lehrkräften festgestellt werden: „Wirkungen des elektrischen Stroms“, die „elektrische Stromstärke“, eine „Modellvorstellung des elektrischen Stroms“, „Leiter/Nichtleiter“, die „elektrische Spannung“ und der „einfache Stromkreis“ wurden von allen in Bayern unterrichtenden Lehrkräften thematisiert. „Sicherheit und Gefahren“ in Bezug auf elektrischen Strom wurde von den in Bayern unterrichtenden Lehrkräften

relativ gesehen seltener thematisiert als von ihren in Hessen und Österreich unterrichtenden KollegInnen.

Die thematisierten Inhalte von den im Bundesland Hessen unterrichtenden Gymnasiallehrkräften des Samples zeichnen sich vor allem durch die hohe Heterogenität aus. Der Grund dafür könnte nicht zuletzt in den unterschiedlichen Schulcurricula in Hessen zu suchen sein. Eine Besonderheit des hessischen Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts stellt zudem die häufige Thematisierung von „UND/ODER Schaltungen“ dar. Während rund 80 % der hessischen Lehrkräfte diesen Inhalt thematisierten, wurde dieser von keiner österreichischen Lehrkraft behandelt. Zusätzlich lässt sich als Besonderheit des hessischen Unterrichts anmerken, dass keiner der Lehrkräfte die Messung einer „U-I-Kennlinie“ als Schlüsselidee oder -inhalt einer Unterrichtsstunde rückmeldete.

Als Besonderheiten des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts der österreichischen Lehrkräfte lassen sich vor allem zwei zentrale Unterschiede zum Unterricht in Bayern und Hessen formulieren. „Reihen- und Parallelschaltungen“ sowie das „Ohm'sche Gesetz“ wurden hier häufiger thematisiert. Eine „Modellvorstellung elektrischen Stroms“ wurde dafür von vergleichsweise wenigen Lehrkräften unterrichtet.

Insgesamt zeigt sich, dass eine sehr große Bandbreite an unterschiedlichen Inhalten in den bayrischen, hessischen und österreichischen Schulklassen dieser Stichprobe thematisiert wurde. Neben einigen Grundinhalten, die von einem Großteil der Lehrkräfte innerhalb dieser Studie unterrichtet wurden, lassen sich zudem auch Unterschiede zwischen dem Unterricht in den deutschen Bundesländern und Österreich feststellen, der Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht innerhalb des Samples zeigt also einen gewissen regionalen Couleur.

F4.1b: In welcher zeitlichen Reihenfolge thematisieren die teilnehmenden Lehrkräfte die Inhalte im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht?

Diese Forschungsfrage lässt sich auf Basis der in Kapitel 8.2 dargestellten Ergebnisse zumindest in Teilen beantworten. In Bezug auf die Abfolge der thematisierten Inhalte im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht lässt sich kein einziges, allgemein gültiges Abfolgemuster erkennen. Die Darstellung in Abbildung 68 (siehe Kapitel 8.2.2) repräsentiert eine Mischung aus dem Unterricht von insgesamt 32

Klassen. Dieser Amalgam-Elektrizitätslehreunterricht startet mit der Thematisierung des „einfachen Stromkreises“ oder der „Elektrostatik“, gefolgt von einer mikroskopischen „Modellvorstellung von elektrischem Strom“. Anschließend werden wahlweise „Parallel- und Serienschaltungen“ oder die elektrischen Grundgrößen „elektrische Stromstärke“ und „elektrische Spannung“ thematisiert, während die Definition des „elektrischen Widerstands“ und eine Behandlung des „ohm’schen Gesetzes“ den Abschluss bilden.

Basierend auf dieser Amalgamdarstellung des Anfangs-Elektrizitätslehreunterrichts der Lehrkräfte konnten sieben globale Abfolgemuster für die am häufigsten thematisierten Inhalte identifiziert werden, denen ein Großteil der Lehrkräfte des Samples folgt (siehe Abbildung 69).

Ein Beispiel dafür, wie unterschiedlich die Zugänge der einzelnen Lehrkräfte sind, stellt die Einführung der Grundgrößen „elektrische Stromstärke“ und „elektrische Spannung“ dar. Entgegen der in der Literatur teils angeführten Meinung (z. B. Burde, 2018), dass die elektrische Stromstärke meist vor der elektrischen Spannung thematisiert wird, zeigte sich in dieser Studie ein sehr heterogenes Bild. Neun der 32 Lehrkräfte thematisierten die elektrische Spannung vor der elektrischen Stromstärke, zwölf Lehrkräfte die Stromstärke vor der Spannung und zehn Lehrkräfte führten die beiden Grundgrößen gleichzeitig ein. Auch der zeitliche Abstand der Einführung der beiden Grundgrößen variierte dabei zwischen einer und neun Unterrichtsstunden.

Insgesamt lässt sich diese Forschungsfrage aufgrund der vorliegenden Daten also nur bedingt beantworten. Es lassen sich jedoch auf einer globalen Ebene in einer Betrachtung der am häufigsten thematisierten Inhalte sieben Abfolgemuster erkennen, denen 28 der 32 Lehrkräfte in Ihrem Unterricht gefolgt sind.

F4.1c: Welche Analogiemodelle setzen die teilnehmenden Lehrkräfte in ihrem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht ein?

Forschungsfrage F4.1c wird anhand der in Kapitel 8.2.3 dargestellten Ergebnisse beantwortet. Eine weitere Limitation betrifft hier den Einsatz der Wasserkreislaufanalogie. In den Kapiteln 5.4.3 und 5.4.4 wurden zwei aus didaktischer Sicht sehr unterschiedliche Analogiemodelle zum Wasserkreislauf vorgestellt: der ebene geschlossene Wasserkreislauf sowie der offene Wasserkreislauf basierend

auf einer Höhenanalogie. Diese explizite Unterscheidung trafen die teilnehmenden Lehrkräfte in ihren Unterrichtslogbüchern nicht durchgehend. Zusätzlich lassen die Informationen in den Schülermitschriften insgesamt auch keine valide Unterscheidung zwischen den beiden Analogiemodellen zu. Zu wenige Lehrkräfte unterschieden explizit zwischen diesen beiden Analogiemodellen und es wurden teilweise auch keine Aufzeichnungen diesbezüglich im Schulheft getätigt.

Die Ergebnisse zum Einsatz von Analogiemodellen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht der teilnehmenden Lehrkräfte (siehe Kapitel 8.2.3) zeigen im Vergleich zu den thematisierten Inhalten ein wesentlich homogeneres Bild. Es zeigt sich, dass insgesamt 25 der 32 Lehrkräfte zumindest ein Analogiemodell in ihrem Unterricht einsetzten. In 20 dieser 25 Fälle (62,5 %) wurde ein Wasserkreislauf-Analogiemodell eingesetzt, welches dementsprechend den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht dieser Stichprobe dominiert. Weitere Analogiemodelle wie das Fahrradkettenmodell (15,6 %) oder eine Analogie zu einem Verkehrs- oder Menschenstrom (15,6 %) wurden nur von einem kleineren Teil eingesetzt.

Ein weiteres erwähnenswertes Ergebnis stellt der Einsatz von Analogiemodellen dar, welche in den letzten Jahrzehnten im Zuge empirisch evaluierter Unterrichtskonzepte entwickelt wurden. So zeigt sich, dass das von Gleixner (1998) entwickelte Stäbchenmodell nur von einer österreichischen Lehrkraft eingesetzt wurde. Auch das Frankfurter Elektronengasmodell wurde nur von einer österreichischen Lehrkraft der Stichprobe verwendet. Sowohl für das Münchner Stäbchenmodell als auch das Frankfurter Elektronengasmodell zeigt sich also, dass sich diese Analogiemodelle noch nicht flächendeckend etablieren konnten.

In einer getrennten Betrachtung der eingesetzten Analogiemodelle von Lehrkräften in Bayern, Hessen und Österreich werden wiederum einige Unterschiede in der Auswahl der Analogiemodelle sichtbar. Die größten Unterschiede dabei sind:

- Das Fahrradkettenmodell wurde im Unterricht von Lehrkräften in Hessen (14,3 %) und Österreich (26,7 %) eingesetzt, nicht jedoch von den in Bayern unterrichtenden Lehrkräften.
- Eine Analogie zum Wärmetransport wurde nur von einer Lehrkraft in Hessen (28,6 %) eingesetzt.
- In den hessischen Klassen setzten alle Lehrkräfte ein Analogiemodell ein.

- Bei den in Bayern unterrichtenden Lehrkräften wurde am häufigsten eine Wasserkreislaufanalogie (75 %) eingesetzt.

Eine Generalisierung auf den gesamten Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht in Bayern, Hessen und Österreich lässt sich aufgrund der Ergebnisse dieser Studie nicht ziehen, dennoch stellen diese Erkenntnisse erste Hinweise auf den auch regional unterschiedlichen Einsatz von Analogiemodellen dar und sollten Gegenstand zukünftiger Untersuchungen mit einer größeren Stichprobe sein.

F4.1d: Wie setzen die teilnehmenden Lehrkräfte Analogiemodelle in ihrem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht ein?

In Bezug auf die Art und Weise, wie Lehrkräfte Analogiemodelle in ihrem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht einsetzen, lassen sich zwei zentrale Ergebnisse formulieren.

Das erste Ergebnis ist, dass Analogiemodelle zum größten Teil nur in einer oder zwei Unterrichtsstunden für die konkrete Thematisierung einzelner Inhalte eingesetzt wurden. Von den insgesamt 41 eingesetzten Analogiemodellen wurden diese in 24 Fällen in einer einzelnen Unterrichtsstunde und in elf Fällen in zwei Unterrichtsstunden eingesetzt, also in insgesamt 85 % aller Fälle. Lediglich von zwei Lehrkräften wurden Analogiemodelle konsequent über mehr als drei Unterrichtsstunden hinweg verwendet. Bei einem derartigen, kurzen Einsatz von Analogiemodellen stellt sich die Frage, inwiefern den SchülerInnen eine Transferleistung vom Ausgangsbereich auf den Zielbereich des Analogiemodells überhaupt möglich wird. Vor allem für den ebenen geschlossenen Wasserkreislauf ist aus der Literatur bekannt, dass SchülerInnen intensive zeitliche Ressourcen benötigen, um Analogien korrekt auf den elektrischen Stromkreis zu übertragen (Schwedde et al., 1995).

Basierend auf den in Kapitel 8.2.3.1 dargestellten Ergebnissen stellt eine Wasserkreislaufanalogie das primäre Analogiemodell für beinahe alle teilnehmenden Lehrkräfte dar. Wurde auf andere Analogiemodelle zurückgegriffen, so wurden diese hauptsächlich zusätzlich zu einer Wasserkreislaufanalogie eingesetzt, anstatt diese zu ersetzen. Außerdem wurde die Wasserkreislaufanalogie nicht durchgängig über den gesamten Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht hinweg verwendet, sondern vorwiegend in einer oder zwei Unterrichtsstunden. Dies gilt auch für die anderen eingesetzten Analogiemodelle.

In einer Analyse der Code-Überschneidungen zwischen den thematisierten Inhalten im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht der Lehrkräfte und den eingesetzten Analogiemodellen zeigt sich zudem, dass Analogiemodelle zum größten Teil für die Einführung der elektrischen Grundgrößen elektrische Spannung, elektrische Stromstärke und elektrischer Widerstand eingesetzt wurden, oder um „Modellvorstellungen zum einfachen Stromkreis“ zu thematisieren.

Diese Ergebnisse könnten nicht zuletzt mit aktuellen Physikschulbüchern zum Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht zusammenhängen. Wie in Kapitel 5.2 beschrieben werden auch in Schulbüchern hauptsächlich wasserbezogene Analogiemodelle an bestimmten Stellen für die Einführung von Grundgrößen oder einer „Modellvorstellung des elektrischen Stroms“ genutzt. Einzig das Schulbuch Big Bang 3 (Apolin, 2017) verwendet ein Analogiemodell über einen Großteil des Elektrizitätslehrekapitels hinweg. Dies spiegelt sich auch in den Ergebnissen des TSPK-Tests wider. In einem der Items mussten die teilnehmenden Lehrkräfte ein Analogiemodell beschreiben, welches für den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht eingesetzt werden kann. In der Analyse zeigte sich dabei, dass von den 32 Lehrkräften insgesamt 19 Lehrkräfte eine Wasseranalogie, vier Lehrkräfte die Fahrradkettenanalogie, eine Lehrkraft ein Analogiemodell zur Wärmeübertragung, eine Lehrkraft ein Rucksackmodell, eine Lehrkraft das Frankfurter Elektronengasmodell und 6 Lehrkräfte kein Analogiemodell nannten.

F4.2: Inwiefern lässt sich anhand der Ergebnisse aus F4a bis F4d ein traditioneller Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht, welchem ein Großteil der Lehrkräfte folgt, formulieren?

Diese Forschungsfrage F4.2 lässt sich nur teilweise beantworten. In Bezug auf die thematisierten Inhalte lässt sich ein traditioneller Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht nur in Grundzügen erkennen. Insgesamt lassen sich nur fünf zentrale Inhalte (siehe Kapitel 8.2.1) feststellen, die von mehr als zwei Drittel der Lehrkräfte thematisiert wurden. Es lassen sich jedoch Unterschiede zwischen dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht der Lehrkräfte in Bayern, Hessen und Österreich erkennen. Für die Reihenfolge der thematisierten Inhalte wurden sieben Abfolgemuster auf globaler Ebene identifiziert, denen ein Großteil der Lehrkräfte folgte.

Für die Nutzung von Analogiemodellen lässt sich ein traditioneller Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht der Lehrkräfte dieser Stichprobe formulieren: Im

Großteil aller Schulklassen wurde zumindest ein Analogiemodell eingesetzt, diese war meistens eine Wasserkreislaufanalogie und wurde in einer oder zwei Unterrichtsstunden für die Thematisierung des „einfachen Stromkreises“ oder der Grundgrößen „elektrische Stromstärke“ und „elektrische Spannung“ eingesetzt. Wurden ein zweites oder mehrere weitere Analogiemodelle eingesetzt, so war dies hauptsächlich zusätzlich zu einer Wasserkreislaufanalogie.

10 Fazit und Ausblick

Bevor in diesem letzten Kapitel eine Zusammenfassung der Studienergebnisse und ein Ausblick erfolgt, werden in Kapitel 10.1 vorab Entscheidungen zum Studiendesign, zur Durchführung und deren Folgen reflektiert und Empfehlungen für zukünftige Studien formuliert.

10.1 Reflexion des Studiendesigns

Das Gesamtprojekt, in dem diese Dissertationsstudie eingebettet ist, ist als Design-Based-Research-Projekt ausgerichtet. Dessen Ziel besteht letztendlich nicht darin, anhand von physikdidaktischen Laboruntersuchungen Ursache-Wirkungs-Beziehungen aufzuklären, sondern nachhaltig Innovationen in die Unterrichtspraxis zu implementieren (Burde, 2018).

Das Ziel des Gesamtprojekts EPo-EKo ist die empirische Evaluierung unterschiedlicher entwickelter Unterrichtskonzepte hinsichtlich der Fachwissens- und Interessensentwicklung der teilnehmenden SchülerInnen (siehe Kapitel 6.1). Aus dem Bestreben heraus, die im Projekt entwickelten Unterrichtskonzepte möglichst niederschwellig, jedoch auf einer breiten Basis in die unterrichtliche Praxis einfließen zu lassen, wurde eine Projektteilnahme in Bayern, Hessen und großen Teilen Österreichs beworben. Die Umsetzung einer flächendeckenden Beobachtung von Unterricht mittels Videographie war aufgrund rechtlicher als auch geographischer Gegebenheiten nicht möglich.

Für das Studiendesign dieser Arbeit bedeutete dies, dass Aspekte unterrichtlicher Handlungen mittels Unterrichtsbeobachtungen aller Lehrkräfte nicht erhoben werden konnten. Die in dieser Studie betrachteten Zusammenhänge können also keinen direkten Beitrag zur Aufklärung von Wirkzusammenhängen innerhalb der schulischen Wirkkette (Terhart, 2012) leisten. Dennoch können die Ergebnisse als Anknüpfungspunkte für zukünftige Studien gesehen werden. In zukünftigen, ähnlichen Studien, die über vergleichbar begrenzte zeitliche und personelle Ressourcen verfügen, wäre zumindest eine fallstudienartige Beobachtung des Unterrichtshandelns von einigen wenigen Lehrkräften empfehlenswert. Bei einer Erhebung der Lehrkräfte Merkmale vor dem Unterricht könnten entsprechende KandidatInnen basierend auf diesen Ergebnissen ausgewählt werden.

Im Projekt EPo-EKo steht neben der Entwicklung des Fachwissens auch die Entwicklung des Interesses der SchülerInnen durch eine Kontextorientierung im Fokus, das Studiendesign wurde daher für das Gesamtprojekt EPo-EKo konzipiert. Die vorliegende Dissertationsstudie bezieht sich jedoch nur auf Daten aus dem ersten Projektjahr, weshalb fokussierende Entscheidungen über die Erhebung der Lehrkräfte Merkmale getroffen werden mussten, um ökonomischen Zielsetzungen des Gesamtprojekts gerecht zu werden. Die Erhebung des TSPK der Lehrkräfte beschränkte sich deshalb in der ersten Phase des Projekts EPo-EKo auf die Facetten *Schülervorstellungen* und *Instruktionsstrategien*. Diese wurden gewählt, weil sie in der Literatur vor allem als zentral für fachliche Lernprozesse gesehen werden. Für zukünftige Studien, deren Hauptinteresse in der Identifikation von Einflussfaktoren für die Entwicklung des Fachinteresses oder des Selbstkonzepts der SchülerInnen liegt, sind andere Operationalisierungen des TSPK zu empfehlen. Auch für die vorliegende Studie wäre es im Nachhinein betrachtet eine mögliche Alternative gewesen, zum Beispiel die Facette *Schülervorstellungen* und die Facette *Interesse und Kontext* der Lehrkräfte zu erheben und diese Facetten in der Mehrebenenanalyse getrennt, im Sinne einzelner Scores, für die jeweiligen Facetten zu betrachten.

10.2 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Dissertation wurde der Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht der siebten bzw. achten Jahrgangsstufe von Lehrkräften in Bayern, Hessen und Österreich aus mehreren Blickwinkeln näher beleuchtet. Einerseits wurde anhand quantitativer Analysen mittels Mehrebenenmodellen der Frage nachgegangen, welchen (indirekten) Zusammenhang ausgewählte Lehrkräfte Merkmale mit dem fachlichen Lernerfolg sowie der Fachinteressens- und physikbezogenen Selbstkonzeptentwicklung der SchülerInnen aufweisen. Andererseits wurde im Zuge dieser Arbeit versucht, eine Beschreibung der aktuellen Unterrichtspraxis des Elektrizitätslehreunterrichts der Sekundarstufe I innerhalb der Stichprobe zu formulieren. Da bisher noch keine empirischen Ergebnisse über die Unterrichtspraxis des Elektrizitätslehreunterrichts der Sekundarstufe I vorliegen, wurde dieser Teil der Studie explorativ angelegt.

Aufgrund der weiterhin nicht gänzlich geklärten Evidenzlage, in Bezug auf den durch die Unterrichtsqualität medierten Einfluss des Professionswissens von

Lehrkräften auf fachlichen Lernerfolg von SchülerInnen, wurde untersucht, inwiefern das TSPK (*Wissen über Schülervorstellungen* und *Wissen über Instruktionsstrategien*) der Lehrkräfte zur Elektrizitätslehre einen Zusammenhang mit fachlichen Leistungen von SchülerInnen im Post-Test aufweist.

In einer globalen Betrachtung aller 41 untersuchten Schulklassen konnten keine Zusammenhänge zwischen dem operationalisierten TSPK der Lehrkräfte zum Inhaltsbereich Elektrizitätslehre und dem fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen festgestellt werden. Für dieses Ergebnis können eine Reihe von Überlegungen zur Erklärung herangezogen werden, die in Kapitel 9.2 ausführlich diskutiert werden. Es zeigte sich jedoch ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen dem TSPK der Lehrkräfte und der Anzahl an deren Dienstjahren. In einer getrennten Betrachtung der Lehrkräfte mit weniger als zehn Dienstjahren und Lehrkräften mit mehr als neun Dienstjahren zeigten sich schließlich zwei Effekte: Während das TSPK für die dienstjüngeren Lehrkräfte einen signifikanten Prädiktor für den fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen darstellte, ließ sich dieser Effekt für die dienstälteren Lehrkräfte nicht feststellen. Umgekehrt zeigte sich jedoch ein positiver Zusammenhang zwischen der Anzahl an Dienstjahren und dem fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen für die dienstälteren Lehrkräfte, während dieser Effekt für die dienstjüngeren ausblieb.

Diese Ergebnisse stellen Anregungen sowohl für zukünftige als auch bereits durchgeführte Forschungsprojekte dar. Da der in dieser Arbeit analysierte Interaktionseffekt in bisher durchgeführten Studien (wie in Kapitel 3 angeführt) nicht untersucht oder zumindest nicht veröffentlicht wurde, stellt eine Re-Analyse der Daten bereits durchgeführter Studien hinsichtlich dieses Interaktionseffekts ein Desiderat dar. In zukünftigen quantitativen Studien sollte dieser Interaktionseffekt in der Analyse berücksichtigt werden, um eine Generalisierung oder Falsifizierung der hier dargestellten Ergebnisse zu erreichen. Zusätzlich können quantitative Analysen wie in dieser Dissertation keine Antwort auf die Ursache dieses Interaktionseffektes liefern. Mögliche Gründe, die diesen Interaktionseffekt erklären könnten, sollten in zukünftigen qualitativen Studien näher untersucht werden. Dazu erscheinen Lehrkräfte mit einem Dienstalder zwischen acht und 15 Dienstjahren als Zielgruppe besonders vielversprechend.

Für die Entwicklung des Fachinteresses und physikbezogenen Selbstkonzepts von SchülerInnen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht stellten sich in dieser

Studie zwei Lehrkräfteresourcen als besonders relevant heraus. So wurden eine eher konstruktivistische Vorstellung vom Lernen und Lehren von Physik und eine hohe Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen als signifikant positive Prädiktoren sowohl für die Entwicklung des Fachinteresses der SchülerInnen, als auch für die Entwicklung des physikbezogenen Selbstkonzepts identifiziert. Wobei einschränkend angemerkt werden muss, dass nur eine exemplarische Betrachtung aus der Menge aller in der Literatur diskutierten Konstrukte, die als Ressourcen betrachtet werden können, erfolgen konnte.

Außerdem ist die Beziehung zwischen dem Selbstkonzept der SchülerInnen vor dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht und Fachinteresses in den Klassen nach dem Unterricht unterschiedlich ausgeprägt. Die Unterschiede in dieser Beziehung ließen sich zum Teil durch die Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen erklären.

Insgesamt scheint die Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen eine zentrale Rolle in Bezug auf die Entwicklung affektiver Schülervariablen einzunehmen. Da in dieser Studie keine dahingehenden Aspekte unterrichtlichen Handelns direkt durch Unterrichtsbeobachtungen erhoben werden konnten, können diese Ergebnisse als Desiderat für weitere zukünftige Untersuchungen gesehen werden. Denn unklar bleibt, auf welche Art und Weise diese Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte einen Einfluss ausübt. Geht mit einer höheren Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen auch ein eher schülerorientierter Unterricht einher und resultiert dies in einer besseren Entwicklung affektiver Merkmale? Die Frage ist also, ob sich die Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte tatsächlich wie in der Wirkkette schulischer Bildung (Terhart, 2012) dargestellt auswirkt, oder der hier gefundene Effekt lediglich einen Proxy für andere Variablen darstellt, die in dieser Studie nicht untersucht wurden, wie zum Beispiel die Lehrer-Schüler-Beziehung oder -Interaktionen.

Ein weiteres zentrales Ergebnis stellt der negative Zusammenhang zwischen einer eher rezeptiven Vorstellung vom Lernen und Lehren der Lehrkräfte und der Entwicklung des Fachinteresses und des physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht dar. Für fachliche Leistungen zeigt sich dieser Effekt nicht, die Ergebnisse dieser Studie weisen sogar eher auf einen positiven Zusammenhang hin, der jedoch nicht signifikant ist und in

einer getrennten Betrachtung der dienstjüngeren und dienstälteren Lehrkräfte gänzlich verschwand.

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse zur Beantwortung von Forschungsfrage 4 (siehe Kapitel 6.3.4), welche die Ebene der Unterrichtsgestaltung der Lehrkräfte betreffen, zusammengefasst und Ausblicke für mögliche zukünftige Studien formuliert. Für die Beschreibung eines traditionellen Elektrizitätslehreunterrichts zeigten sich zwei wesentliche Erkenntnisse. In Bezug auf die thematisierten Fachinhalte im Elektrizitätslehreunterricht der Physiklehrkräfte des Samples und deren zeitliche Relation zueinander lassen sich in dieser Studie sieben Abfolgemuster beschreiben, die typisch für den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht der teilnehmenden Lehrkräfte sind. Sowohl die thematisierten Inhalte als auch deren zeitliche Abfolge fielen in einer detaillierten Betrachtung jedoch sehr unterschiedlich aus, obwohl regionale Tendenzen im Vergleich zwischen in Bayern, Hessen und Österreich unterrichtenden Lehrkräften erkennbar sind.

Ein anderes Bild zeigte sich für den Einsatz von Analogiemodellen. Obwohl auf Basis der eingesetzten Unterrichtslogbücher und Schülerhefte empirisch nicht restlos zwischen dem ebenen und höhenbasierten Wasserkreislauf unterschieden werden konnte, zeigte sich, dass die Wasserkreislaufanalogie den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht dominiert. Außerdem werden Analogiemodelle eher punktuell für die Thematisierung bestimmter Inhalte eingesetzt im Vergleich zu einer durchgängigen Verwendung über den gesamten Elektrizitätslehreunterricht hinweg.

Für die Entwicklung und Evaluation von neuen Unterrichtskonzepten zur Anfangs-Elektrizitätslehre lassen sich daher folgende Implikationen ableiten:

- Werden neue Unterrichtskonzepte zum Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht in Feldstudien evaluiert, so ist davon auszugehen, dass dieses Unterrichtskonzept für viele Lehrkräfte eine nicht zu vernachlässigende Änderung der thematisierten Inhalte im Vergleich zu ihrem bisherigen Unterricht darstellt. Es ist anzunehmen, dass mit einer unterschiedlichen inhaltlichen Schwerpunktsetzung im Unterricht auch unterschiedliche Zielsetzungen der Lehrkräfte einhergehen, welche wiederum als mögliche Barrieren für die Implementierung von Unterrichtskonzepten gesehen

werden können (z.B. D. K. Cohen, 1988; Lloyd & Wilson, 1998; Wilson, 1990). Umso wichtiger erscheint es, bei der Evaluation von Unterrichtskonzepten die unterschiedlichen Interventionsgruppe näher zu beleuchten, um mögliche Erkenntnisse besser einordnen zu können.

- Sollen umgekehrt Unterrichtskonzepte angelehnt an die aktuelle Unterrichtspraxis des Elektrizitätslehreunterrichts der Sekundarstufe I entwickelt werden, ist dies aufgrund dieser gefundenen Heterogenität kaum möglich. Obwohl sich auf globaler Ebene einige Abfolgemuster finden lassen, die den Unterricht eines Großteils der Lehrkräfte beschreiben (siehe Kapitel 8.2.2), scheint es den einen traditionellen Unterricht nämlich nicht zu geben.
- Werden in entwickelten Unterrichtskonzepten andere Analogiemodelle als eine Wasserkreislaufanalogie durchgängig über das gesamte Unterrichtskonzept hinweg eingesetzt, so stellt dies einen doppelten Bruch für die aktuell gängige Unterrichtspraxis dar. Einerseits zeigen die Ergebnisse, dass die Wasserkreislaufanalogie das primär eingesetzte Analogiemodell ist. Andererseits bedeutet aber auch die Verwendung eines Analogiemodells für mehrere Unterthemen innerhalb des Elektrizitätslehreunterrichts einen Bruch mit dem bisherigen Elektrizitätslehreunterricht der Lehrkräfte, in dem Analogiemodelle überwiegend punktuell für die Thematisierung einzelner Fachinhalte hinzugezogen werden.

Diese Ergebnisse über die Art und Weise, wie der Elektrizitätslehreunterricht von den Lehrkräfte in Bayern, Hessen und Österreich traditioneller Weise umgesetzt wurde, stellen also zeitgleich mögliche Akzeptanzhürden als auch Anknüpfungspunkte für die Umsetzung neu entwickelter Unterrichtskonzepte zur Anfangs-Elektrizitätslehre dar.

Stellen neue Unterrichtskonzepte, wie die im Zuge des Projekts EPo-EKo entwickelten, einen Bruch mit der gängigen unterrichtlichen Praxis dar, erscheint es basierend auf den Ergebnissen zudem noch wichtiger, die tatsächliche Umsetzung des Unterrichtskonzeptes zu untersuchen bzw. zu berücksichtigen (z.B. Tarr, Chávez, Reys & Reys, 2006). Dies führt zu der Frage, ob Lehrkräfte neuartige Unterrichtskonzepte überhaupt so wie von den EntwicklerInnen angedacht umsetzen können, wenn diese einen derartigen Bruch mit ihrer bisherigen Praxis

darstellen. Dies bedeutet, dass ein Vernachlässigen der wechselseitigen Beziehung zwischen Unterrichtskonzepten und Lehrkräften (Remillard, 2005) sowohl zu einer Unter- als auch Überschätzung der Ergebnisse von Evaluationsstudien führen kann.

Setzen die an einer Treatment-Kontrollgruppenstudie teilnehmenden Lehrkräfte eine Intervention aufgrund dieses Bruchs mit ihrer bisherigen Unterrichtspraxis nicht auf die Art und Weise ein wie von den EntwicklerInnen angedacht, kann dies unter Umständen dazu führen, keinen Effekt oder einen zu kleinen Effekt des Unterrichtskonzeptes im Sinne von intendierten Schülerwirkungen nach dem Unterricht festzustellen (Breuer, Vogelsang & Reinhold, 2019; O'Donnell, 2008). Unterschiede im Lernerfolg von SchülerInnen könnten also möglicherweise auf die einheitlich vorgegebenen Fachinhalte des Unterrichtskonzeptes zurückzuführen sein, anstatt auf eine aus fachdidaktischer Sicht Überlegenheit eines Unterrichts auf Basis von entwickelten Unterrichtskonzepten.

Daraus ergeben sich zwei weitere Desiderata für zukünftige Forschungsprojekte, deren Ziel es ist, ein entwickeltes Unterrichtskonzept in der realen Unterrichtspraxis zu evaluieren: Insgesamt sollte ein größerer Fokus auf die vermutlich unterschiedlichen umgesetzten Interventionen in der Kontrollgruppe selbst gelegt werden, um eine sinnvollere Einordnung der Evaluierungsergebnisse zu ermöglichen. Andererseits sollte erhoben werden, inwiefern Unterrichtskonzepte in der Treatmentgruppe tatsächlich so umgesetzt werden, wie diese von den EntwicklerInnen angedacht waren. Zusätzlich könnten weitere Studien zur Nutzung von Unterrichtsmaterialien oder Unterrichtskonzepten wie z. B. von Breuer, Vogelsang und Reinhold (2018) weitere Beiträge zur Aufklärung der beschriebenen Desiderata liefern.

Das Konzept von „Fidelity of Implementation“ könnte hierbei ein weiteres hilfreiches Konstrukt darstellen (Haagen-Schützenhöfer, Schubatzky, Burde & Wilhelm, 2020). Als Erweiterung des Projekts EPo-EKo wird deshalb aktuell auch an einem untersuchungsökonomischen Ansatz gearbeitet, die Umsetzungstreue von Lehrkräften bei der Umsetzung neuer Unterrichtskonzepte im Zuge von quantitativen Design-Based-Research-Zyklen zu erheben.

11 Danksagungen

Abschließend möchte ich mich bei der Vielzahl an Menschen bedanken, die mich während den letzten Jahren angespornt, herausgefordert und gefördert haben. Viele Personen haben auf unterschiedlichste Art und Weise zu dieser Arbeit beigetragen, von denen ich einige hier auch namentlich nennen möchte:

- Dem EPo-EKo Projektteam bin ich für die gute Zusammenarbeit und die wertvollen inhaltlichen Anregungen dankbar.
- Danke allen (offiziellen und inoffiziellen) Mitgliedern des Fachbereichs Physikdidaktik an der Universität Graz, die mich in den letzten Jahren begleitet haben.
- Ingrid Krumphals und Gerhard Rath möchte ich für die vielen fachdidaktischen Diskussionen und die wichtigen Auflockerungen in stressigen Momenten danken.
- Prof. Josef Riese danke ich für die Bereitschaft, meine Arbeit zu begutachten. Insbesondere möchte ich mich für die bereichernden inhaltlichen Diskussionen und die damit verbundene Horizonterweiterung meinerseits bedanken.
- Meiner Doktormutter Prof.ⁱⁿ Claudia Haagen-Schützenhöfer danke ich für alles. Dazu zählt weitaus mehr als die Bekräftigungen, eine fachdidaktische Promotion zu verfolgen oder die geduldige, fordernde und vor allem wertschätzende Förderung und Begleitung in den letzten Jahren. Danke!
- Christina danke ich für die bedingungslose Unterstützung in allen Momenten.

Außerdem möchte ich allen Lehrkräften und SchülerInnen für die Teilnahme am Projekt danken. Ohne ihren Einsatz wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

12 Literaturverzeichnis

- Abell, S. K. (2014). Research on Science Teacher Knowledge. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education*. New York, NY: Routledge.
- Alboteanu-Schirner, A. M., Brand, R., Buric, R., Burisch, C., Carmesin, H.-O., Emse, A. et al. (2016). *Universum Physik* (Ausgabe A, [Gymnasium], 1. Auflage). Berlin: Cornelsen.
- Alonzo, A. C., Berry, A. & Nilsson, P. (2019). Unpacking the Complexity of Science Teachers' PCK in Action: Enacted and Personal PCK. In A. Hume, R. Cooper & A. Borowski (Eds.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (pp. 271–288). Singapore: Springer Singapore.
- Andersen, E. B. (1997). The rating scale model. In W. J. Linden & R. K. Hambleton (Eds.), *Handbook of Modern Item Response Theory* (pp. 67–84). New York: Springer.
- Anderson, J. R., Funke, J., Neuser-von Oettingen, K. & Plata, G. (Hrsg.). (2013). *Kognitive Psychologie* (Lehrbuch, 7., erw. und überarb., neu gestaltete Aufl.). Berlin: Springer VS.
- Apolin, M. (2017). *Big Bang 3. [Physik]* (1. Auflage).
- Awisati, F. & González-Sancho, C. (2016). *PISA 2015 Ergebnisse: Exzellenz und Chancengerechtigkeit in der Bildung. Bd. I* (1 Band).
- Backhaus, K., Erichson, B. & Weiber, R. (2015). Multidimensionale Skalierung. In K. Backhaus, B. Erichson & R. Weiber (Hrsg.), *Fortgeschrittene Multivariate Analysemethoden* (Bd. 25, S. 349–400). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-46087-0_7
- Bader, F. & Dorn, F. (2013). *Physik* (Hessen, Gymnasium, Dr. A). Braunschweig: Schroedel.
- Baker, D. P., Fabrega, R., Galindo, C. & Mishook, J. (2004). Instructional Time and National Achievement: Cross-National Evidence. *Prospects: Quarterly Review of Comparative Education*, 34(3), 311–334.

- Bandura, A. (1986). Social foundations of thought and action. *Englewood Cliffs, NJ, 1986*.
- Bandura, A. (1989). Human agency in social cognitive theory. *American psychologist, 44(9)*, 1175.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*: Macmillan.
- Banilower, E. R., Smith, P. S., Malzahn, K. A., Plumley, C. L., Gordon, E. M. & Hayes, M. L. (2018). *Report of the 2018 NSSME+ (NC: Horizon Research, I., Hrsg.)*. Chapel Hill.
- Barmeier, M., Boldt, J., Ciprina, H. J., Fröchtenicht, E., Heide, G., Hell, K. et al. (2008). *Prisma Physik 3 (1. Aufl.)*. Wien: ÖBV.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software, 67(1)*.
<https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 9(4)*, 469–520.
- 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. <https://doi.org/10.3102/0002831209345157>
- Bayrisches Kultusministerium. (2009). *Lehrplan Natur und Technik Jahrgangsstufe 7*. Zugriff am 12.12.2019. Verfügbar unter http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/id_26436.html
- Berry, A., Friedrichsen, P. & Loughran, J. (Hrsg.). (2015). *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education*. New York, NY: Routledge.
- Bleichroth, W. (1991). Elementarisierung, das Kernstück der Unterrichtsvorbereitung. *NiU Physik, 2(6)*, 4–11.
- Blömeke, S. (Ed.). (2008). *Professionelle Kompetenz angehender Lehrerinnen und Lehrer. Wissen, Überzeugungen und Lerngelegenheiten deutscher Mathematikstudierender und -referendare ; erste Ergebnisse zur Wirksamkeit der Lehrerausbildung*. Münster: Waxmann.

- Blömeke, S. (2009). Lehrerbildung. In S. Blömeke, T. Bohl, L. Haag, G. Lang-Wojtasik & W. Sacher (Hrsg.), *Handbuch Schule: Theorie-Organisation-Entwicklung* (S. 483–490). UTB.
- Blömeke, S., Gustafsson, J.-E. & Shavelson, R. J. (2015). Beyond dichotomies. *Zeitschrift für Psychologie*.
- Blömeke, S., Kaiser, G. & Lehmann, R. (2010). *TEDS-M 2008. Professionelle Kompetenz und Lerngelegenheiten angehender Primarstufenlehrkräfte im internationalen Vergleich*: Waxmann Verlag.
- BMBWF. (2000). *Lehrplan der AHS-Unterstufe*, BMBWF. Zugriff am 12.12.2019. Verfügbar unter <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568>
- Bond, T. G. & Fox, C. M. (2012). *Applying the Rasch model. Fundamental measurement in the human sciences* (2nd ed.). New York: Routledge. Retrieved from <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10670521>
- Bond, T. G. & Fox, C. M. (2015). *Applying the Rasch model. Fundamental measurement in the human sciences* (Third edition). New York: Routledge Taylor & Francis Group. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=1002030>
- Boone, W. J., Staver, J. R. & Yale, M. S. (2014). *Rasch analysis in the human sciences*. Dordrecht: Springer.
- Borg, I. (2010). Multidimensionale Skalierung. In C. Wolf & H. Best (Hrsg.), *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse* (1. Aufl., S. 391–418). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden.
- Borowski, A., Neuhaus, B. J., Tepner, O., Wirth, J., Fischer, H., Leutner, D. et al. (2010). Professionswissen von Lehrkräften in den Naturwissenschaften (ProwiN). Kurzdarstellung des BMBF-Projekts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 341–348.
- Bortz, J. & Döring, N. (2015). *Forschungsmethoden und Evaluation. Für Human- und Sozialwissenschaftler* (Springer-Lehrbuch, 5. Aufl.). Berlin: Springer.

- Bredthauer, W. & et al. (2013). *Impulse Physik. Für die Gymnasien in Hessen* (Sekundarstufe I, Neubearbeitung, 1. Auflage, Hessen, [Gymnasium]. Stuttgart: Ernst Klett Verlag.
- Breuer, J., Vogelsang, C. & Reinhold, P. (2018). Materialnutzung bei der Planung von Physikunterricht: Ergebnisse einer Interviewstudie. In Maurer Christian (Hrsg.), *Qualitätvoller Chemie- und Physikunterricht - normative und empirische Dimension* (S. 671–674).
- Breuer, J., Vogelsang, C. & Reinhold, P. (2019). Implementation fachdidaktischer Innovation im Physikunterricht. Ergebnisse einer Pilotstudie. In Maurer Christian (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. GDCP-Jahrestagung 2018* (S. 189–192).
- Brewer, D. J. & Stasz, C. (1996). Enhancing opportunity to learn measures in NCES data.
- Bromme, R. (1994). Beyond subject matter: A psychological topology of teachers' professional knowledge. *Didactics of mathematics as a scientific discipline*, 73–88.
- Brophy, J. E. & Thomas, L. (1986). Good." Teacher Behavior and Student Achievement.". *Handbook of research on teaching*, 3, 328–375.
- Brown, S. & Salter, S. (2010). Analogies in science and science teaching. *Advances in Physiology Education*, 34(4), 167–169. <https://doi.org/10.1152/advan.00022.2010>
- Brückmann, M. (2009). *Sachstrukturen im Physikunterricht. Ergebnisse einer Videostudie* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 94). Berlin: Logos-Verl.
- Brühwiler, C. & Blatchford, P. (2011). Effects of class size and adaptive teaching competency on classroom processes and academic outcome. *Learning and Instruction*, 21(1), 95–108.
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion* (Psychologie, 3., aktualisierte und erw. Aufl.). München: Pearson Studium.

- Bundesamt für Statistik. (2011). *PISA 2006 Schülerfragebogen (Schweizer Version)*. Neuchatel: Schweiz. Verfügbar unter <http://www.pisa.admin.ch/bfs/pisa/de/index/05/02/02.html>
- Burde, J.-P. (2018). *Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells*: Logos Verlag Berlin. <https://doi.org/10.30819/4726>
- Burde, J.-P. & Wilhelm, T. (2015a). Das Elektronengasmodell und Möglichkeiten seiner Visualisierung. In S. Bernholt (Hrsg.), *Heterogenität und Diversität - Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen 2014* (Bd. 35, S. 438–440). GDPCP.
- Burde, J.-P. & Wilhelm, T. (2015b). Mit elektrischem Druck die Spannung verstehen lernen. *Plus Lucis*, (1-2), 28–33.
- Burde, J.-P. & Wilhelm, T. (2016). Moment mal...(22): Hilft die Wasserkreislaufanalogie. *Praxis der Naturwissenschaften–Physik in der Schule*, 65(1), 46–49.
- Burde, J.-P. & Wilhelm, T. (2017). Modelle in der Elektrizitätslehre. *Unterricht Physik*, 157(28), 8–13.
- Burde, J.-P. & Wilhelm, T. (2018). Hilft die Wasserkreislaufanalogie? In T. Wilhelm (Hrsg.), *Stolpersteine überwinden im Physikunterricht* (S. 100–104). Seelze: Aulis.
- Burde, J.-P., Wilhelm, T., Schubatzky, T., Haagen-Schützenhöfer, C., Dopatka, L., Spatz, V. et al. (2020). Lernförderlichkeit des überarbeiteten Frankfurter Unterrichtskonzepts. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. GDPCP-Jahrestagung 2019*. Duisburg-Essen.
- Burde, J.-P., Wilhelm, T., Schubatzky, T., Haagen-Schützenhöfer, C., Ivanjek, L., Hopf, M. et al. (2019). Re-Design des Frankfurter Unterrichtskonzepts im Rahmen von EPo-EKo. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1*.
- Burstein, L. (1995). *Validating national curriculum indicators*: Rand Corporation.

- Caballero, D., Araya, R., Kronholm, H., Viiri, J., Mansikkaniemi, A., Lehesvouri, S. et al. (Hrsg.). (2017). *ASR in classroom today: automatic visualization of conceptual network in science classrooms*: Springer.
- Camburn, E. & Barnes, C. A. (2004). Assessing the validity of a language arts instruction log through triangulation. *The Elementary School Journal*, 105(1), 49–73.
- Carlsen, W. S. (1999). Domains of teacher knowledge. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Hrsg.), *Examining pedagogical knowledge: The construct and its implications for science education* (S. 133–144). Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Carlson, J. & Daehler, K. R. (2019). The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education. In A. Hume, R. Cooper & A. Borowski (Eds.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (pp. 77–92). Singapore: Springer Singapore.
- Carpendale, J. & Hume, A. (2019). Investigating Practising Science Teachers' pPCK and ePCK Development as a Result of Collaborative CoRe Design. In A. Hume, R. Cooper & A. Borowski (Eds.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (pp. 223–250). Singapore: Springer Singapore.
- Cauet, E. (2016). *Testen wir relevantes Wissen?* Dissertation. Logos Verlag Berlin GmbH.
- 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. Zugriff am 16.01.2019.
- Chan, K. K. H. & Hume, A. (2019). Towards a Consensus Model: Literature Review of How Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge Is Investigated in Empirical Studies. In A. Hume, R. Cooper & A. Borowski (Eds.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science*. Singapore: Springer Singapore.

- Cobern, W. W., Schuster, D., Adams, B., Skjold, B. A., Muğaloğlu, E. Z., Bentz, A. et al. (2014). Pedagogy of Science Teaching Tests: Formative assessments of science teaching orientations. *International Journal of Science Education*, 36(13), 2265–2288.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2014.918672>
- Cohen, D. K. (1988). *Teaching practice: Plus ça change*: National Center for Research on Teacher Education East Lansing, MI.
- Cohen, J., Cohen, P., West, S. G. & Aiken, L. S. (2003). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences* (third edition). New York: Routledge Taylor & Francis Group. Retrieved from <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0634/2002072068-d.html>
- Coll, R. K., France, B. & Taylor, I. (2005). The role of models/and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education*, 27(2), 183–198.
<https://doi.org/10.1080/0950069042000276712>
- Colwell, M. & Lindsey, E. (2003). Teacher-child interactions and preschool children's perceptions of self and peers. *Early Child Development and Care*, 173(2-3), 249–258.
- Demaray, M. K., Malecki, C. K., Rueger, S. Y., Brown, S. E. & Summers, K. H. (2009). The role of youth's ratings of the importance of socially supportive behaviors in the relationship between social support and self-concept. *Journal of youth and adolescence*, 38(1), 13–28.
- The Design-Based Research Collective. (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, 32(1).
- Dopatka, L. (i.V.). *Titel der Dissertation*. Dissertation. TU Darmstadt, Darmstadt.
- Dopatka, L., Spatz, V., Burde, J.-P., Wilhelm, T., Ivanjek, L., Hopf, M. et al. (2018). Design-Based Research: Elektrizitätslehre mit Potenzial und Kontexten EPo-EKo. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 197–204.
- Dopatka, L., Spatz, V., Burde, J.-P., Wilhelm, T., Ivanjek, L., Hopf, M. et al. (2019). Kontexte in der Elektrizitätslehre im Rahmen des Projekts EPo-EKo.

- In Maurer Christian (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. GDCP-Jahrestagung 2018* (S. 217–220).
- Dopatka, L., Spatz, V., Burde, J.-P., Wilhelm, T., Ivanjek, L., Hopf, M. et al. (2020). Interviewstudie zum kontextorientierten Unterrichtsmaterial von EKo. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. GDCP-Jahrestagung 2019*. Duisburg-Essen.
- Dopatka, L., Spatz, V., Burde, J.-P., Wilhelm, M., Schubatzky, T., Haagen-Schützenhöfer, C. et al. (2020). Measuring students' interest in physics. *PERC Proceedings 2020*.
- Dubberke, T., Kunter, M., McElvany, N., Brunner, M. & Baumert, J. (2008). Lerntheoretische Überzeugungen von Mathematiklehrkräften: Einflüsse auf die Unterrichtsgestaltung und den Lernerfolg von Schülerinnen und Schülern. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*, 22(34), 193–206.
- Duit, R. (1986). Wärmevorstellungen. *Naturwissenschaften im Unterricht–Physik/Chemie*, 34(13), 30–33.
- Duit, R. & Glynn, S. (1995). Analogien–Brücken zum Verständnis. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, 6(43), 4–10.
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M. & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction – a framework for improving teaching and learning science. *Science Education Research and Practice in Europe*, 13–37. <https://doi.org/10.13140/2.1.2848.6720>
- Duit, R., Häußler, P. & Kircher, E. (1981). Planung und Analyse von Sachstrukturen für den Physikunterricht. *Unterricht Physik*, 4, 35–58.
- Eagly, A. H. & Chaiken, S. (1993). *The psychology of attitudes*: Harcourt Brace Jovanovich College Publishers.
- Else, M. J., Clement, J. & Rea-Ramirez, M. A. (2008). Using analogies in science teaching and curriculum design: Some guidelines. In *Model based learning and instruction in science* (S. 215–231). Springer.
- Enders, C. K. & Tofighi, D. (2007). Centering predictor variables in cross-sectional multilevel models: a new look at an old issue. *Psychological methods*, 12(2), 121.

- Engard, N. C. (2009). LimeSurvey <http://limesurvey.org>: Visited: Summer 2009. 1522-8959.
- Ergönenc, J. (2010). *The Impact of Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge on Teacher Action and Student Outcomes*. Universität Duisburg-Essen. Zugriff am 07.09.2017.
- Ergönenc, J., Neumann, K. & Fischer, H. (2014). The Impact of Pedagogical Content Knowledge on Cognitive Activation and Student Learning. In H. Fischer, P. Labudde, K. Neumann & J. Viiri (Hrsg.), *Quality of Instruction in Physics* (S. 13–30). Münster / New York: Waxmann.
- Field, A., Miles, J. & Field, Z. (2013). *Discovering statistics using R* (Reprint). Los Angeles, Calif.: Sage.
- Fischer, H., Labudde, P., Neumann, K. & Viiri, J. (Hrsg.). (2014). *Quality of Instruction in Physics*. Münster / New York: Waxmann.
- Fischler, H. (2001). Verfahren zur Erfassung von Lehrer-Vorstellungen zum Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 7, 105–120.
- Förtsch, C., Werner, S., Dorfner, T., Kotzebue, L. von & Neuhaus, B. J. (2017). Effects of Cognitive Activation in Biology Lessons on Students' Situational Interest and Achievement. *Research in Science Education*, 47(3), 559–578. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9517-y>
- Förtsch, C., Werner, S., Kotzebue, L. von & Neuhaus, B. J. (2016). Effects of biology teachers' professional knowledge and cognitive activation on students' achievement. *International Journal of Science Education*, 38(17), 2642–2666. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1257170>
- Fraune, K. (2014). *Modeling system thinking–assessment, structure validation and development*. Christian-Albrechts Universität Kiel.
- Frey, A., Taskinen, P., Schütte, K., Prenzel, M., Artelt, C., Baumert, J. et al. (2009). *PISA-2006-Skalenhandbuch. Dokumentation der Erhebungsinstrumente*. Münster: Waxmann.

- Fricke, K., Kauertz, A. & Fischer, H. (2010). Der Beitrag von Klassenführung auf Unterrichtsqualität im physikbezogenen Bereich: Ein Schulstufenvergleich. *Anschlussfähige Bildung im Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt*, 141–154.
- Friedrichsen, P. J., Abell, S. K., Pareja, E. M., Brown, P. L., Lankford, D. M. & Volkmann, M. J. (2008). Does teaching experience matter? Examining biology teachers' prior knowledge for teaching in an alternative certification program. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(4), 357–383.
<https://doi.org/10.1002/tea.20283>
- Furinghetti, F. & Pehkonen, E. (2006). Rethinking characterizations of beliefs. In G. C. Leder, E. Pehkonen & G. Törner (Hrsg.), *Beliefs: A hidden variable in mathematics education?* (S. 39–57). Springer Science & Business Media.
- Gardner, A. L. & Gess-Newsome, J. (2011). A PCK rubric to measure teachers' knowledge of inquiry-based instruction using three data sources. *Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Orlando, FL*.
- Gau, B., Meyer, L. & Schmidt, G.-D. (2014). *Duden Physik. Gesamtband Sekundarstufe I*. Berlin: Duden Paetec.
- Geiser, C. (2011). *Datenanalyse mit Mplus. Eine anwendungsorientierte Einführung* (2., durchgesehene Auflage). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden.
<https://doi.org/10.1007/978-3-531-93192-0>
- Gelman, A. & Hill, J. (2017). *Data analysis using regression and multilevel/hierarchical models* (Analytical methods for social research, 16th printing). Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Gentner, D. (1983). Structure-Mapping: A Theoretical Framework for Analogy*. *Cognitive science*, 7(2), 155–170.
https://doi.org/10.1207/s15516709cog0702_3
- Gentner, D. (1989a). Analogical learning. *Similarity and analogical reasoning*, 199.

- Gentner, D. (1989b). The Mechanisms of Analogical Learning. In S. Vosniadou & A. Ortony (Hrsg.), *Similarity and analogical reasoning* (S. 199–244). Cambridge: Cambridge University Press.
- Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of the thinking from the PCK Summit. In A. Berry, P. Friedrichsen & J. Loughran (Hrsg.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education*. New York, NY: Routledge.
- Gess-Newsome, J., Taylor, J. A., Carlson, J., Gardner, A. L., Wilson, C. D. & Stuhlsatz, M. A. M. (2017). Teacher pedagogical content knowledge, practice, and student achievement. *International Journal of Science Education*, 1–20. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1265158>
- Gleixner, C. (1998). *Einleuchtende Elektrizitätslehre mit Potenzial*. Dissertation. LMU, München.
- Glynn, S. M. (1991). Explaining science concepts: A teaching-with-analogies model. *The psychology of learning science*, 219–240.
- Gollenz, F., Breyer, G., Tentschert, H.-H. & Reichel, E. (2012). *Physik 3* (1. Aufl.). Wien: ÖBV.
- Goodlad, J. I. (1998). *Educational renewal. Better teachers, better schools*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Gramzow, Y. (2015). *Fachdidaktisches Wissen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik. Modellierung und Testkonstruktion*. Dissertation. Universität Paderborn, Paderborn.
- Gramzow, Y., Riese, J. & Reinhold, P. (2013). Modellierung fachdidaktischen Wissens angehender Physiklehrkräfte. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 7–30.
- Grossman, P. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education. Professional development and practice series*. New York, NY: Teachers College Press.
- Großschedl, J., Harms, U., Kleickmann, T. & Glowinski, I. (2015). Preservice Biology Teachers' Professional Knowledge: Structure and Learning Opportunities. *Journal of Science Teacher Education*, 26(3), 291–318. <https://doi.org/10.1007/s10972-015-9423-6>

- Großschedl, J., Mahler, D., Kleickmann, T. & Harms, U. (2014). Content-Related Knowledge of Biology Teachers from Secondary Schools: Structure and learning opportunities. *International Journal of Science Education*, 36(14), 2335–2366. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.923949>
- Guay, F., Ratelle, C. F., Roy, A. & Litalien, D. (2010). Academic self-concept, autonomous academic motivation, and academic achievement: Mediating and additive effects. *Learning and Individual Differences*, 20(6), 644–653.
- Haagen-Schützenhöfer, C., Burde, J.-P., Hopf, M., Spatz, V. & Wilhelm, T. (2019). Using the electron-gas model in lower secondary schools - a bi-national Design-Based-Research-Project. In E. McLoughlin & P. van Kampen (Hrsg.), *Concepts, Strategies and Models to Enhance Physics Teaching and Learning* (1st ed. 2019, S. 3–12). Cham: Springer International Publishing; Imprint Springer.
- Haagen-Schützenhöfer, C., Schubatzky, T., Burde, J.-P. & Wilhelm, T. (2020). Fidelity of Implementation im Zuge fachdidaktischer Entwicklungsarbeit. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. GDCP-Jahrestagung 2019*. Duisburg-Essen.
- Hamre, B. K. & Pianta, R. C. (2001). Early teacher–child relationships and the trajectory of children's school outcomes through eighth grade. *Child development*, 72(2), 625–638.
- Harrison, A. G. (2001). Thinking and working scientifically: The role of analogical and mental models. Paper presented at the annual meeting of the Australian Association for Research in Education, Fremantle.
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011–1026.
- Härtel, H. (2012). Der alles andere als einfache elektrische Stromkreis. *Praxis der Naturwissenschaften–Physik in der Schule*, 61(5), 17–24.
- Harter, S. (1999). Symbolic interactionism revisited: Potential liabilities for the self constructed in the crucible of interpersonal relationships. *Merrill-Palmer Quarterly* (1982-), 677–703.

- Harter, S. (2006). The self. In W. Damon, R. M. Lerner & N. Eisenberg (Hrsg.), *Handbook of child psychology, social, emotional, and personality development* (S. 505–570). John Wiley & Sons.
- Hartig, J. & Rakoczy, K. (2010). Mehrebenenanalyse - Multilevel Analysis. In H. Holling & B. Schmitz (Hrsg.), *Handbuch Statistik, Methoden und Evaluation* (Handbuch der Psychologie, / hrsg. von J. Bengel ... ; Bd. 13, S. 538–547). Göttingen: Hogrefe.
- Härtig, H. (2010). *Sachstrukturen von Physikschulbüchern als Grundlage zur Bestimmung der Inhaltsvalidität eines Tests* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 101). Zugl.: Duisburg, Essen, Univ., Diss., 2010. Berlin: Logos Verl.
- Hartig, Johannes, Kühnbach, Olga (2006). Schätzung von Veränderung mit „plausible values“ in mehrdimensionalen Rasch-Modellen. In A. Ittel & H. Merckens (Hrsg.), *Veränderungsmessung und Längsschnittstudien in der empirischen Erziehungswissenschaft* (S. 27–44). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-90502-0_3
- Hartering, A., Kleickmann, T. & Hawelka, B. (2006). Der Einfluss von Lehrervorstellungen zum Lernen und Lehren auf die Gestaltung des Unterrichts und auf motivationale Schülervariablen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(1), 110–126.
- Hashweh, M. Z. (1996). Effects of science teachers' epistemological beliefs in teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(1), 47–63.
- Helaakoski, J. & Viiri, J. (2011). A graph-theoretic perspective on the content structure of physics lessons and its relation to student learning gains. *Oppiminen, opetus ja opettajaksi kasvu ainedidaktisen tutkimuksen valossa*, 55.
- Helaakoski, J. & Viiri, J. (2014). Content and Content Structure of Physics Lessons and Students' Learning Gains: Comparing Finland, Germany and Switzerland. In H. Fischer, P. Labudde, K. Neumann & J. Viiri (Hrsg.), *Quality of Instruction in Physics* (S. 93–110). Münster / New York: Waxmann.
- Heller, K. A. & Perleth, C. (2001). *Kognitiver Fähigkeits-Test für 5.-12./13. Klassen, Revision. Materialien-Manual-Koffer*. Göttingen: Beltz-Test.

- Helmke, A. (2015). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts : Franz Emanuel Weinert gewidmet* (Schule weiterentwickeln, Unterricht verbessern Orientierungsband, 6. Auflage). Seelze-Velber: Klett/Kallmeyer.
- Henson, R. K., Kogan, L. R. & Vacha-Haase, T. (2001). A reliability generalization study of the teacher efficacy scale and related instruments. *Educational and Psychological Measurement*, 61(3), 404–420.
- Henze, I., van Driel, J. H. & Verloop, N. (2008). Development of Experienced Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge of Models of the Solar System and the Universe. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1321–1342. <https://doi.org/10.1080/09500690802187017>
- Hesse, M. B. (1963). *Models and analogies in science (London: Seed and Ward)*: Hubbard.
- Hessisches Kultusministerium. (2004). *Lehrplan Physik - gymnasialer Bildungsgang Jahrgangsstufen 7 bis 13*, Hessisches Kultusministerium. Zugriff am 12.12.2019. Verfügbar unter <https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/g9-physik.pdf>
- Hessisches Kultusministerium. (2010). *Lehrplan Physik - gymnasialer Bildungsgang Jahrgangsstufen 6G bis 9G*, Hessisches Kultusministerium. Zugriff am 12.12.2019. Verfügbar unter <https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/g8-physik.pdf>
- Hill, H., Rowan, B. & Loewenberg Ball, D. (2005). Effects of Teachers' Mathematical Knowledge for Teaching on Student Achievement. *American Educational Research Journal*, 42(2), 371–406. Zugriff am 07.09.2017.
- Hofer, B. K. (2001). Personal Epistemology Research: Implications for Learning and Teaching. *Educational Psychology Review*, 13(4), 353–383. Zugriff am 19.10.2017.
- Hoffmann, L., Häußler, P. & Lehrke, M. (1998). *Die IPN-Interessenstudie Physik*. Kiel: IPN.
- Hox, J. J. (2010). *Multilevel analysis. Techniques and applications* (Quantitative methodology series, 2. ed.). New York, NY: Routledge. Retrieved from <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10422140>

- Hume, A., Cooper, R. & Borowski, A. (Eds.). (2019). *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science*. Singapore: Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2>
- Ivanjek, L., Hopf, M., Burde, J.-P., Wilhelm, T., Dopatka, L., Spatz, V. et al. (2019). Entwicklung eines Testinstruments zu einfachen Stromkreisen. In Maurer Christian (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. GDCP-Jahrestagung 2018*.
- Ivanjek, L., Susac, A., Planinic, M., Andrasevic, A. & Milin-Sipus, Z. (2016). Student reasoning about graphs in different contexts. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 351.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010106>
- Jaccard, J. & Turrisi, R. (2003). *Interaction effects in multiple regression* (Sage university papers series. Quantitative applications in the social sciences, vol. 72, 2. ed.). Thousand Oaks, Calif: Sage. Retrieved from <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0657/2002153223-d.html>
- Jäger, A. O., Holling, H., Preckel, F., Schulze, R., Vock, M., Süß, H.-M. et al. (2008). Berliner Intelligenzstrukturtest für Jugendliche: Begabungs- und Hochbegabungsdiagnostik (BIS-HB). *Diagnostica*, 54(4), 221–225.
<https://doi.org/10.1026/0012-1924.54.4.221>
- Jang, E. E. & Roussos, L. (2007). An Investigation into the Dimensionality of TOEFL Using Conditional Covariance-Based Nonparametric Approach. *Journal of Educational Measurement*, 44(1), 1–21.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-3984.2007.00024.x>
- Johnson, P. E. (1971). *Perceptual Structure of Scientific Knowledge* (Final Report Project No. 0-0067, Hrsg.). U.S. Department of Health, Education and Welfare.
- Joswig, A.-K. & Riese, J. (2018). Die Veränderung physikdidaktischen Wissens im Lehr- Lern-Seminar. *Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik*.
- Joswig, A.-K. & Riese, J. (2019). Die Veränderung physikdidaktischen Wissens im Lehr- Lern-Seminar. In Maurer Christian (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche*

Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. GDCP-Jahrestagung 2018 (S. 141–144).

- Joswig, A.-K. & Riese, J. (2020). Ursachen für Veränderungen des physikdidaktischen Wissens im Studium. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. GDCP-Jahrestagung 2019*. Duisburg-Essen.
- Jüttner, M., Boone, W., Park, S. & Neuhaus, B. J. (2013). Development and use of a test instrument to measure biology teachers' content knowledge (CK) and pedagogical content knowledge (PCK). *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 25(1), 45–67. <https://doi.org/10.1007/s11092-013-9157-y>
- Kahle, J. B. & Rogg, SR. (1997). *Discovery inquiry test (DIT)*: Oxford, OH: Ohio's Evaluation & Assessment Center for Mathematics and ...
- Kanter, D. E. (2009). Doing the project and learning the content: Designing project-based science curricula for meaningful understanding. *Science Education*, 17(5), n/a-n/a. <https://doi.org/10.1002/sce.20381>
- Kanter, D. E. & Konstantopoulos, S. (2010). The impact of a project-based science curriculum on minority student achievement, attitudes, and careers: The effects of teacher content and pedagogical content knowledge and inquiry-based practices. *Science Education*, 94(5), 855–887. <https://doi.org/10.1002/sce.20391>
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3–18.
- Kaufmann, E., Zöchling, A., Grois, G. & Masin, C. (2013). *Physik verstehen 3* (1. Aufl.). Wien: ÖBV.
- Keller, M. 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. <https://doi.org/10.1002/tea.21378>

- Keys, C. W. & Bryan, L. A. (2001). Co-constructing inquiry-based science with teachers: Essential research for lasting reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), 631–645.
- Kind, V. (2009). A Conflict in Your Head: An exploration of trainee science teachers' subject matter knowledge development and its impact on teacher self-confidence. *International Journal of Science Education*, 31(11), 1529–1562. <https://doi.org/10.1080/09500690802226062>
- Kind, V. (2017). Development of evidence-based, student-learning-oriented rubrics for pre-service science teachers' pedagogical content knowledge. *International Journal of Science Education*, 26(1), 1–33. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1311049>
- Kind, V. & Chan, K. K. H. (2019). Resolving the amalgam: connecting pedagogical content knowledge, content knowledge and pedagogical knowledge. *International Journal of Science Education*, 41(7), 964–978. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1584931>
- Kircher, E. (1984). Analogmodelle für den elektrischen Stromkreis. *Der Physikunterricht*, 18(2), 46–60.
- Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (2009). *Physikdidaktik: Theorie und Praxis*: Springer-Verlag.
- Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hrsg.). (2015). *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (Springer-Lehrbuch, 3. Aufl.). Berlin: Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41745-0>
- Kirschner, S., Sczudlek, M., Tepner, O., Borowski, A., Fischer, H. E., Lenske, G. et al. (2017). Professionswissen in den Naturwissenschaften (ProwiN). In C. Gräsel & K. Trempler (Hrsg.), *Entwicklung von Professionalität pädagogischen Personals. Interdisziplinäre Betrachtungen, Befunde und Perspektiven* (S. 113–130). Wiesbaden: Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-07274-2_7
- Kirschner, S., Tayler, J., Rollnick, M., Borowski, A. & Mavhunga, E. (2015). Gathering Evidence for the Validity of PCK Measures: Connecting Ideas to Analytic Approaches. In A. Berry, P. Friedrichsen & J. Loughran (Hrsg.),

-
- Re-examining pedagogical content knowledge in science education* (S. 229–241).
- Klafki, W. (1962). Didaktische Analyse. Auswahl - Grundlegende Aufsätze. *Die deutsche Schule*, 32(5).
- Klieme, E., Lipowsky, F., Rakoczy, K. & Ratzka, N. (2006). Qualitätsdimensionen und Wirksamkeit von Mathematikunterricht. *Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule*, 127–146.
- Knapp, M. S. (1995). *Teaching for meaning in high-poverty classrooms*: ERIC.
- Koller, D. (2008). *Einführung in die Elektrizitätslehre. Lehrer-Version*, LMU München. Zugriff am 24.11.2019. Verfügbar unter http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/archiv/inhalt_materialien/einf_elektrizitaet/konzept.zip
- Köller, O., Baumert, J. & Neubrand, J. (2000). Epistemologische Überzeugungen und Fachverständnis im Mathematik- und Physikunterricht. In *Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe* (S. 229–269). Leske+ Budrich.
- Komorek, M. & Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, 26(5), 619–633.
- Korneck, F., Lamprecht, J., Wodzinski, R. & Schecker, H. (2010). *Quereinsteiger in das Lehramt Physik: Lage und Perspektiven der Physiklehrausbildung in Deutschland*: DPG.
- Krapp, A. (2002). Structural and dynamic aspects of interest development: Theoretical considerations from an ontogenetic perspective. *Learning and Instruction*, 12(4), 383–409.
- Krapp, A. (2007). An educational–psychological conceptualisation of interest. *International Journal for Educational and Vocational Guidance*, 7(1), 5–21. <https://doi.org/10.1007/s10775-007-9113-9>
- Krapp, A. (2010). Interesse. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (Schlüsselbegriffe, 3., überarb. und erw. Aufl.). Weinheim: Beltz PVU.

- Krathwohl, D. R. & Anderson, L. W. (2009). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*: Longman.
- Krauss, S., Baumert, J. & Blum, W. (2008). Secondary mathematics teachers' pedagogical content knowledge and content knowledge: validation of the COACTIV constructs. *ZDM*, 40(5), 873–892.
<https://doi.org/10.1007/s11858-008-0141-9>
- Kromrey, J. D., Coraggio, J. T., Phan, H. T., Romano, J. L., Hess, M. R., Lee, R. S. et al. (2006). The Impact of Measurement Error in Predictor Variables in Multilevel Models: An Empirical Investigation of Statistical Bias and Sampling Error. *annual meeting of the Florida Educational Research Association*. Zugriff am 21.02.2020. Verfügbar unter https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/53994723/The_Impact_of_Measurement_Error_in_Predi20170727-23822-ylv9n.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DThe_Impact_of_Measurement_Error_in_Predi.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200221%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20200221T080321Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=3d56063194648da114fbb7fbfcd99a7b75e26c689f3231ddbdc2a12bd4354cc
- Krumphals, I. (2017). *Vorstellungen von Physiklehramtsstudierenden zu Physikunterricht und Studium*. Dissertation Universität Wien.
- Kuckartz, U. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (Grundlagentexte Methoden, 3., überarbeitete Auflage). Weinheim: Beltz Juventa. Verfügbar unter http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783779943860
- Kuhn, J. (2014). Mehrebenenanalyse am Beispiel der Lernwirkung von Aufgaben. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 297–310). Berlin: Springer Spektrum.

- 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. <https://doi.org/10.1002/tea.21457>
- Kunter, M., Baumert, J. & Blum, W. (2011). *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV*: Waxmann Verlag.
- Kunter, M., Klusmann, U., Baumert, J., Richter, D., Voss, T. & Hachfeld, A. (2013). Professional competence of teachers: Effects on instructional quality and student development. *Journal of educational psychology*, 105(3), 805.
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B. & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, 82(13). <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>
- Lamberti, J. (2008). *Einstieg in die Methoden empirischer Forschung*.
- Landis, J. R. & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics*, 159–174.
- Lange, K. (2010). Zusammenhänge zwischen naturwissenschaftsbezogenem fachspezifisch-pädagogischem Wissen von Grundschullehrkräften und Fortschritten im Verständnis naturwissenschaftlicher Konzepte bei Grundschülerinnen und-schülern. *Münster: Inaugural-Dissertation*.
- Lange, K., Kleickmann, T., Tröbst, S. & Möller, K. (2012). Fachdidaktisches Wissen von Lehrkräften und multiple Ziele im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 15(1), 55–75.
- Lange, K., Ohle, A., Kleickmann, T., Kauertz, A., Möller, K. & Fischer, H. (2015). Zur Bedeutung von Fachwissen und fachdidaktischem Wissen für Lernfortschritte von Grundschülerinnen und Grundschülern im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. *Zeitschrift für Grundschulforschung*, 8(1), 23–38.
- Langer, W. (2009). *Mehrebenenanalyse. Eine Einführung für Forschung und Praxis* (Studienskripten zur Soziologie, 2. Auflage). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-91779-5>

- Langer, W. (2010). Mehrebenenanalyse mit Querschnittsdaten. In C. Wolf & H. Best (Hrsg.), *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse* (1. Aufl., S. 741–774). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden.
- Lawson, A. E. (2000). *Science attitudes, skills, & knowledge survey (SASKS): Form 1-3 Arizona State University*: Tempe: Arizona Collaborative for Excellence in the Preparation of Teachers.
- Lee, E. & Luft, J. A. (2008). Experienced Secondary Science Teachers' Representation of Pedagogical Content Knowledge. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1343–1363.
<https://doi.org/10.1080/09500690802187058>
- Leflot, G., Onghena, P. & Colpin, H. (2010). Teacher–child interactions: relations with children's self-concept in second grade. *Infant and child development*, 19(4), 385–405.
- Liepertz, S. (2017). *Zusammenhang zwischen dem Professionswissen von Physiklehrkräften, dem sachstrukturellen Angebot des Unterrichts und der Schülerleistung* (Studien Zum Physik- und Chemielernen Ser, v.224). Berlin: Logos Verlag Berlin. Verfügbar unter <https://ebookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=5313498>
- Liepertz, S. & Borowski, A. (2018). Testing the Consensus Model: relationships among physics teachers' professional knowledge, interconnectedness of content structure and student achievement. *International Journal of Science Education*, 37(3), 1–21.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1478165>
- Linacre, J. M. (2011). *A user's guide to WINSTEPS: Rasch model computer programs*. MESA Pres: Chicago.
- Lloyd, G. M. & Wilson, M. (1998). Supporting innovation: The impact of a teacher's conceptions of functions on his implementation of a reform curriculum. *Journal for Research in Mathematics Education*, 248–274.
- Loughran, J., Berry, A. & Mulhall, P. (2012). *Understanding and Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge*: Springer Science & Business Media.

- Lubben, F., Bennett, J., Hogarth, S. & Robinson, A. (2005). *A systematic review of the effects of context-based and Science-Technology-Society (STS) approaches in the teaching of secondary science on boys and girls, and on lower ability pupils*. London: EPPI-Centre, Social Research Unit, Institute of Education.
- Maas, C. J. M. & Hox, J. J. (2005). Sufficient sample sizes for multilevel modeling. *Methodology*, 1(3), 86–92.
- Magnusson, S., Krajcik, J. & Borko, H. (1999). Nature, Sources, and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science Teaching. In Springer Netherlands (Hrsg.), *Examining pedagogical content knowledge* (S. 95–132).
- Mahler, D., Großschedl, J. & Harms, U. (2017). Using doubly latent multilevel analysis to elucidate relationships between science teachers' professional knowledge and students' performance. *International Journal of Science Education*, 39(2), 213–237. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1276641>
- Markic, S. (2008). *Studies on Freshman Science Student Teachers' Beliefs about Science Teaching and Learning*. Aachen: Shaker.
- Markic, S. & Eilks, I. (2007). Vorstellungen von Lehramtsstudierenden der Physik über Physikunterricht zu Beginn ihres Studiums und ihre Einordnung. *PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 2(6), 31–42.
- Markic, S. & Eilks, I. (2008). A case study on German first year chemistry student teachers beliefs about chemistry teaching, and their comparison with student teachers from other science teaching domains. *Chemistry Education Research and Practice*, 9(1), 25–34.
- Marsh, H. W. & Craven, R. G. (2006). Reciprocal effects of self-concept and performance from a multidimensional perspective: Beyond seductive pleasure and unidimensional perspectives. *Perspectives on psychological science*, 1(2), 133–163.
- Marsh, H. W., Trautwein, U., Lüdtke, O., Köller, O. & Baumert, J. (2005). Academic self-concept, interest, grades, and standardized test scores: Reciprocal effects models of causal ordering. *Child development*, 76(2), 397–416.

- Marsh, H. W. & Yeung, A. S. (1997a). Causal effects of academic self-concept on academic achievement: Structural equation models of longitudinal data. *Journal of educational psychology*, 89(1), 41.
- Marsh, H. W. & Yeung, A. S. (1997b). Coursework selection: Relations to academic self-concept and achievement. *American Educational Research Journal*, 34(4), 691–720.
- Martin, M. O., Mullis, I. V. S., Foy, P. & Stanco, G. M. (2012). *TIMSS 2011 International Results in Science*: ERIC.
- Matthes, E. & Heinze, C. (Eds.). (2005). *Das Schulbuch zwischen Lehrplan und Unterrichtspraxis. Jahrestagung der Internationalen Gesellschaft für Historische und Systematische Schulbuchforschung 2004* (Beiträge zur historischen und systematischen Schulbuchforschung). Bad Heilbrunn/Obb.: Klinkhardt.
- Mayer, D. P. (1999). Measuring instructional practice: Can policymakers trust survey data? *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 21(1), 29–45.
- McDermott, L. C. & Shaffer, P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. *American journal of physics*, 60(11), 994–1003.
- McDiarmid, G. W., Ball, D. L. & Anderson, C. W. (1989). *Why staying one chapter ahead doesn't really work: Subject-specific pedagogy* (Bd. 6): National Center for Research on Teacher Education, Michigan State University.
- McFarland, L., Murray, E. & Phillipson, S. (2016). Student–teacher relationships and student self-concept: Relations with teacher and student gender. *Australian Journal of Education*, 60(1), 5–25.
- Meinhardt, C. (2018). *Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zu Selbstwirksamkeitserwartungen von (angehenden) Physiklehrkräften in physikdidaktischen Handlungsfeldern*. Dissertation.
- Meinhardt, C., Rabe, T. & Krey, O. (2016, Februar). *Selbstwirksamkeitserwartungen in physikdidaktischen Handlungsfeldern. Skalendokumentation*. Halle-Wittenberg: Martin-Luther Universität.

- Merzyn, G. (1994). *Physikschulbücher, Physiklehrer und Physikunterricht. Beiträge auf der Grundlage einer Befragung westdeutscher Physiklehrer* (IPN, Bd. 139). Kiel: IPN.
- Metzger, S. (2013). Didaktische Rekonstruktion: Fachsystematik und Lernprozesse in der Balance halten. In P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaft. 1.- 9. Schuljahr* (utb-studi-e-book, Bd. 3248, 2. korrigierte Aufl.). Bern: Haupt; UTB.
- Mikelskis-Seifert, S. & Kasper, L. (2011). Modellieren in der Physik, im Alltag und im Unterricht: Hintergründe und unterrichtliche Orientierung zum Thema Modelle. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, 122, 4–12.
- Mikelskis-Seifert, S., Thiele, M. & Wünscher, T. (2005). Modellieren-Schlüsselfähigkeit für physikalische Forschungs- und Lernprozesse. *PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(4), 30–46.
- Morris, L., Ivanjek, L., Burde, J.-P., Dopatka, L., Haagen-Schützenhöfer, C., Schubatzky, T. et al. (2018). Weiterentwicklung eines Testinstruments zum einfachen Stromkreis. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 255–259.
- Muckenfuß, H. (2006). *Lernen im sinnstiftenden Kontext. Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts*. Berlin: Cornelsen.
- Muckenfuß, H. & Walz, A. (Hrsg.). (1997). *Neue Wege im Elektrikunterricht. Vom Tun über die Vorstellung zum Begriff* (Unterrichtshilfen Naturwissenschaften, 2., überarb. Aufl.). Köln: Aulis-Verl. Deubner.
- Mullens, J. E., Gayler, K., Goldstein, D., Hildreth, J., Rubenstein, M., Spiggle, T. et al. (1999). Measuring Classroom Instructional Processes: Using Survey and Case Study Fieldtest Results To Improve Item Construction. Working Paper Series.
- Müller, C. & Duit, R. (2004). Die unterrichtliche Sachstruktur als Indikator für Lernerfolg - Analyse von Sachstrukturdiagrammen und ihr Bezug zu Leistungsergebnissen im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 147–161.

- Müller, C. T. (2004). *Subjektive Theorien und handlungsleitende Kognitionen von Lehrern als Determinanten schulischer Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht*: Logos-Verlag.
- Müller, W. (2010). Vom Lehrplan zu den Zielen des Unterrichts. In H. F. Mikelskis (Hrsg.), *Physik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (2. Aufl., S. 38–51). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Neumann, K., Fischer, H. E., Labudde, P. & Viiri, J. (2014). Design of the Study. In H. Fischer, P. Labudde, K. Neumann & J. Viiri (Hrsg.), *Quality of Instruction in Physics* (S. 31–48). Münster / New York: Waxmann.
- Neumann, K., Fischer, H. E. & Sumfleth, E. (2008). Vertikale Vernetzung und kumulatives Lernen im Chemie-und Physikunterricht. *Pädagogische Professionalität als Gegenstand empirischer Forschung*, 141–151.
- Neumann, K., Kind, V. & Harms, U. (2018). Probing the amalgam: the relationship between science teachers' content, pedagogical and pedagogical content knowledge. *International Journal of Science Education*, 16(11), 1–15.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1497217>
- Novak, J. D. (1990). Concept maps and Vee diagrams: Two metacognitive tools to facilitate meaningful learning. *Instructional science*, 19(1), 29–52.
- Novak, J. D., Gowin, D. B. & Bob, G. D. (1984). *Learning how to learn*: Cambridge University Press.
- 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.
<https://doi.org/10.3102/0034654307313793>
- OECD. (2019). *PISA 2018 Results (Volume I)*. Paris: OECD Publishing.
<https://doi.org/10.1787/5f07c754-en>
- Ogan-Bekiroglu, F. (2007). To What Degree Do the Currently Used Physics Textbooks Meet the Expectations? *Journal of Science Teacher Education*, 18(4), 599–628. Verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/43156438>
- Ohio Department of Education. (2007). *Ohio achievement tests: Grade 5 science student test booklet*. Columbus: Ohio Department of Education.

- Ohle, A. (2010). *Primary School Teachers' Content Knowledge in Physics and Its Impact on Teaching and Student's Achievement* (110. Aufl.). Berlin: Logos-Verlag.
- Oreskes, N. (2019). *Why trust science?* (University Center for Human Values series). Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Oser, F. (2013). "I Know How to Do It, But I Can't Do It": Modeling Competence Profiles for Future Teachers and Trainers. In *Modeling and Measuring Competencies in Higher Education* (S. 45–59). Brill Sense.
- Oser, F. & Baeriswyl, F. (2002). Choreographies of Teaching: Bridging Instruction to Learning. In V. Richardson (Ed.), *Handbook of research on teaching* (4th ed., pp. 1031–1065). Washington, DC: American Educational Research Assoc.
- Paik, S.-H., Cho, B.-K. & Go, Y.-M. (2007). Korean 4-to 11-year-old student conceptions of heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(2), 284–302.
- Pajares, M. F. (1992). Teachers' beliefs and educational research: Cleaning up a messy construct. *Review of Educational Research*, 62(3), 307–332.
- Pamuk, S., Sungur, S. & Oztekin, C. (2017). A Multilevel Analysis of Students' Science Achievements in Relation to their Self-Regulation, Epistemological Beliefs, Learning Environment Perceptions, and Teachers' Personal Characteristics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(8), 1423–1440. <https://doi.org/10.1007/s10763-016-9761-7>
- Park, S. & Chen, Y.-C. (2012). Mapping out the integration of the components of pedagogical content knowledge (PCK). Examples from high school biology classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(7), 922–941. <https://doi.org/10.1002/tea.21022>
- Park, S. & Oliver, J. S. (2008). Revisiting the Conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK). PCK as a Conceptual Tool to Understand Teachers as Professionals. *Research in Science Education*, 38(3), 261–284. <https://doi.org/10.1007/s11165-007-9049-6>
- Park, S. & Suh, J. K. (2019). The PCK Map Approach to Capturing the Complexity of Enacted PCK (ePCK) and Pedagogical Reasoning in Science

- Teaching. In A. Hume, R. Cooper & A. Borowski (Eds.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (pp. 185–200). Singapore: Springer Singapore.
- Pathare, SR & Pradhan, H. C. (2010). Students' misconceptions about heat transfer mechanisms and elementary kinetic theory. *Physics Education*, 45(6), 629.
- Patrick, H., Mantzicopoulos, P., Samarapungavan, A. & French, B. F. (2008). Patterns of young children's motivation for science and teacher-child relationships. *The Journal of Experimental Education*, 76(2), 121–144.
- Piburn, M., Sawada, D., Turley, J., Falconer, K., Benford, R., Bloom, I. et al. (2000). Reformed teaching observation protocol (RTOP) reference manual. *Tempe, Arizona: Arizona Collaborative for Excellence in the Preparation of Teachers*.
- Pitjeng-Mosabala, P. & Rollnick, M. (2018). Exploring the development of novice unqualified graduate teachers' topic-specific PCK in teaching the particulate nature of matter in South Africa's classrooms. *International Journal of Science Education*, 40(7), 742–770.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1446569>
- Planinic, M., Boone, W. J., Susac, A. & Ivanjek, L. (2019). Rasch analysis in physics education research: Why measurement matters. *Physical Review Physics Education Research*, 15(2), 23.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.020111>
- Porter, A. C. (1993). Reform up Close: An Analysis of High School Mathematics and Science Classrooms. Final Report.
- R Core Team. (2013). R: A language and environment for statistical computing [Computer software]. Wien: R Foundation for Statistical Computing. Verfügbar unter <http://www.R-project.org/>
- Raudenbush, S. W. & Bryk, A. S. (2010). *Hierarchical linear models. Applications and data analysis methods* (Advanced quantitative techniques in the social sciences, vol. 1, 2. ed., [Nachdr.]. Thousand Oaks, Calif.: Sage Publ.

- Razali, N. M. & Wah, Y. B. (2011). Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. *Journal of statistical modeling and analytics*, 2(1), 21–33.
- Reinhold, P. (2010). Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion. In H. F. Mikelskis (Hrsg.), *Physik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (2. Aufl., S. 86–101). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Reinmann, G. (2005). Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung. *Unterrichtswissenschaft*, 33(1), 52–69.
- Remillard, J. T. (2005). Examining key concepts in research on teachers' use of mathematics curricula. *Review of Educational Research*, 75(2), 211–246.
- Reyes, L. H. (1984). Affective variables and mathematics education. *The Elementary School Journal*, 84(5), 558–581.
- Rhöneck, C. (1986). Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, 34(13), 10–14.
- Rhöneck, C. & Völker, B. (1982). Einfache Elektrizitätslehre zwischen physikalischem Anspruch und Lernschwierigkeiten. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik/Chemie*, 30(11), 406–412.
- Richardson, V. (1996). The role of attitudes and beliefs in learning to teach. *Handbook of research on teacher education*, 2, 102–119.
- Riese, J. (2009). *Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften*: Logos-Verlag.
- Riese, J., Gramzow, Y. & Reinhold, P. (2017). Die Messung fachdidaktischen Wissens bei Anfängern und Fortgeschrittenen im Lehramtsstudiengang Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 29(1), 14.
<https://doi.org/10.1007/s40573-017-0059-2>
- Riese, J. & Reinhold, P. (2010). Empirische Erkenntnisse zur Struktur professioneller Handlungskompetenz von angehenden Physiklehrkräften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16. Zugriff am 24.10.2017.

- Robitzsch, A. (2019). *sirt: Supplementary item response theory models. R package version 3.3-26*. Zugriff am 26.01.2020. Verfügbar unter <https://CRAN.R-project.org/package=sirt>
- Robitzsch, A., Kiefer, T. & Wu, M. (2019). *TAM: Test analysis modules*. Verfügbar unter <https://CRAN.R-project.org/package=TAM>
- Rollnick, M., Bennett, J., Rhemtula, M., Dharsey, N. & Ndlovu, T. (2008). The Place of Subject Matter Knowledge in Pedagogical Content Knowledge. A case study of South African teachers teaching the amount of substance and chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1365–1387. <https://doi.org/10.1080/09500690802187025>
- Rosenberger, M. (2019). *Vergleichende Analyse von Schulbüchern der 7. Schulstufe im Teilbereich der Elektrizitätslehre*. Diplomarbeit. Universität Graz, Graz.
- Rost, D. H. (Hrsg.). (2010). *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (Schlüsselbegriffe, 3., überarb. und erw. Aufl.). Weinheim: Beltz PVU. Verfügbar unter http://deposit.dnb.de/cgi-bin/dokserv?id=2752114&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm
- Roth, K. J., Garnier, H. E., Chen, C., Lemmens, M., Schwille, K. & Wickler, N. I.Z. (2011). Videobased lesson analysis. Effective science PD for teacher and student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(2), 117–148. <https://doi.org/10.1002/tea.20408>
- Rowan, B., Camburn, E. & Correnti, R. (2004). Using teacher logs to measure the enacted curriculum: A study of literacy teaching in third-grade classrooms. *The Elementary School Journal*, 105(1), 75–101.
- Rowan, B., Correnti, R. & Miller, R. J. (2002). What large-scale, survey research tells us about teacher effects on student achievement: Insights from the prospectus study of elementary schools.
- Rüschepöhler, L. & Markic, S. (2019). Self-concept research in science and technology education – theoretical foundation, measurement instruments, and main findings. *Studies in Science Education*, 55(1), 37–68. <https://doi.org/10.1080/03057267.2019.1645533>

- Sadler, P. M., Sonnert, G., Coyle, H. P., Cook-Smith, N. & Miller, J. L. (2013). The Influence of Teachers' Knowledge on Student Learning in Middle School Physical Science Classrooms. *American Educational Research Journal*, 50(5), 1020–1049. <https://doi.org/10.3102/0002831213477680>
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. & Duit, R. (Hrsg.). (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2>
- Schmelzing, S. (2010). *Das fachdidaktische Wissen von Biologielehrkräften. Konzeptionalisierung, Diagnostik, Struktur und Entwicklung im Rahmen der Biologielehrerbildung*. Zugl.: Duisburg, Essen, Univ., Diss., 2010. Berlin: Logos-Verl.
- Schmelzing, S., van Driel, J. H., Jüttner, M., Brandenbusch, S., Sandmann, A. & Neuhaus, B. J. (2013). Development, Evaluation and Validation of a Paper-and-Pencil Test for Measuring two components of biology teachers' pedagogical content knowledge concerning the "cardiovascular system". *International Journal of Science and Mathematics Education*, 11(6), 1369–1390. Zugriff am 11.03.2019.
- Schubatzky, T., Rosenberger, M. & Haagen-Schützenhöfer, C. (2019). Content structure and analogies in introductory electricity chapters of physics schoolbooks. *Physics Education*, 54(6), 65023. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ab431e>
- Schurz, G. (2008). *Einführung in die Wissenschaftstheorie* (2., durchges. Aufl.). Darmstadt: WBG Wiss. Buchges.
- Schwedes, H. (1985). The importance of water circuits in teaching electric circuits. In R. Duit, W. Jung & C. Rhöneck (Hrsg.), *Aspects of Understanding Electricity - Proceedings of an International Workshop*. IPN-Arbeitsberichte (S. 319–330). Kiel: Schmidt & Klaunig.
- Schwedes, H. & Dudeck, W. G. (1993). Lernen mit der Wasseranalogie. Eine Einführung in die elementare Elektrizitätslehre. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, 16(4), 16–23.

- Schwedes, H., Dudeck, W. G. & Seibel, C. (1995). Elektrizitätslehre mit Wassermodellen. *Praxis der Naturwissenschaften–Physik*, 44(2).
- Schwedes, H. & Schilling, P. (1983). Schülervorstellungen zu Wasserstromkreisen. *Physica Didactica*, 10, 159–170.
- Schwedes, H. & Schilling, P. (1984). Wasser und Strom - Eine spielorientierte Unterrichtseinheit zum Begriff der elektrischen Stromstärke. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik/Chemie*, 8, 263–273.
- Seidel, T. (2011). Lehrerhandeln im Unterricht. *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf*, 605–629.
- Seidel, T., Prenzel, M., Rimmel, R., Dalehefte, I. M., Herweg, C., Kobarg, M. et al. (2006). Blicke auf den Physikunterricht. Ergebnisse der IPN Videostudie. *Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft*, 52(6), 799–821. Zugriff am 07.09.2017.
- Shavelson, R. J., Hubner, J. J. & Stanton, G. C. (1976). Self-concept: Validation of construct interpretations. *Review of Educational Research*, 46(3), 407–441.
- Shipstone, D. M., Rhöneck, C., Jung, W., Kärrqvist, C., Dupin, J.-J., Johsua, S. e. et al. (1988). A study of students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*, 10(3), 303–316.
- Shulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.
- Shulman, L. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard educational review*, 57, 1–23.
- Smith, P. S. (2010). *New tools for investigating the relationship between teacher content knowledge and student learning. Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching*. Philadelphia.
- Snijders, T. A.B. (2005). Power and Sample Size in Multilevel Linear Models. In B. Everitt & D. C. Howell (Eds.), *Encyclopedia of statistics in behavioral science* (pp. 1570–1573). Chichester: Wiley.
- Sorge, S., Keller, M. M., Neumann, K. & Möller, J. (2019). Investigating the relationship between pre-service physics teachers' professional knowledge,

- self-concept, and interest. *Journal of Research in Science Teaching*, 56(7), 937–955. <https://doi.org/10.1002/tea.21534>
- Sorge, S., Kröger, J., Petersen, S. & Neumann, K. (2017). Structure and development of pre-service physics teachers' professional knowledge. *International Journal of Science Education*, 28(10), 1–28. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1346326>
- Späth, S. (2009). Überarbeitung und empirische Untersuchung eines Unterrichtskonzeptes zur Einführung in die Elektrizitätslehre. *Zulassungsarbeit Universität München*.
- Spoden, C. & Geller, C. (2014). Uncovering Country Differences in Physics Content Knowledge and their Interrelations with Motivational Outcomes in a Latent Change Analysis. In H. Fischer, P. Labudde, K. Neumann & J. Viiri (Hrsg.), *Quality of Instruction in Physics* (S. 49–64). Münster / New York: Waxmann.
- Staub, F. C. & 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.
- Stavy, R. (1991). Using analogy to overcome misconceptions about conservation of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(4), 305–313.
- Steinberg, M. S. & Wainwright, C. L. (1993). Using Models to Teach Electricity - The CASTLE Project. *The Physics Teacher*, 31(6), 353–357. <https://doi.org/10.1119/1.2343798>
- Stender, A., Brückmann, M. & Neumann, K. (2017). Transformation of topic-specific professional knowledge into personal pedagogical content knowledge through lesson planning. *International Journal of Science Education*, 39(12), 1690–1714. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1351645>
- Stepich, D. A. & Newby, T. J. (1988). Analogical instruction within the information processing paradigm: Effective means to facilitate learning. *Instructional science*, 17(2), 129–144.
- Stern, L. & Roseman, J. E. (2004). Can middle-school science textbooks help students learn important ideas? Findings from Project 2061's curriculum

- evaluation study: Life science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(6), 538–568.
- Stocké, V. (2004). Entstehungsbedingungen von Antwortverzerrungen durch soziale Erwünschtheit: Ein Vergleich der Prognosen der rational-choice Theorie und des Modells der frame-Selektion. *Zeitschrift für Soziologie*, 33(4), 303.
- Strübe, M., Tröger, H., Tepner, O. & Sumfleth, E. (2014). Development of a pedagogical content knowledge test of chemistry language and models. *Educación Química*, 25(3), 380–390.
- Sweller, J. (2011). Cognitive load theory. In *Psychology of learning and motivation* (Bd. 55, S. 37–76). Elsevier.
- Taasoobshirazi, G. & Carr, M. (2008). A review and critique of context-based physics instruction and assessment. *Educational Research Review*, 3(2), 155–167. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2008.01.002>
- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2006.tb18075.x>
- Tenney, Y. J. & Gentner, D. (1985). What makes analogies accesible: Experiments on the water-flow analogy for electricity. In R. Duit, W. Jung & C. Rhöneck (Hrsg.), *Aspects of Understanding Electricity - Proceedings of an International Workshop. IPN-Arbeitsberichte*. Kiel: Schmidt & Klaunig.
- Tepner, O., Borowski, A., Dollny, S., Fischer, H. E., Jüttner, M., Kirschner, S. et al. (2012). Modell zur Entwicklung von Testitems zur Erfassung des Professionswissens von Lehrkräften in den Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 7–28. Zugriff am 02.10.2019.
- Tepner, O., Borowski, A., Fischer, H., Jüttner, M., Kirschner, S., Leutner, D. et al. (2012). Modell zur Entwicklung von Testitems zur Erfassung des Professionswissens von Lehrkräften in den Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 7–28. Zugriff am 12.09.2017.

- Terhart, E. (2012). Wie wirkt Lehrerbildung? Forschungsprobleme und Gestaltungsfragen. *Zeitschrift für Bildungsforschung*, 2(1), 3–21.
<https://doi.org/10.1007/s35834-012-0027-3>
- Tiemann, A. (1993). *Analogie: Analyse einer grundlegenden Denkweise in der Physik*: Deutsch.
- Trautwein, U., Lüdtke, O., Marsh, H. W., Köller, O. & Baumert, J. (2006). Tracking, grading, and student motivation: Using group composition and status to predict self-concept and interest in ninth-grade mathematics. *Journal of educational psychology*, 98(4), 788.
- Tröger, H., Sumfleth, E. & Tepner, O. (2017). Chemistry Teachers' Professional Knowledge, Classroom Action, and Students' Learning: The Relevance of Technical Language. In K. Hahl, K. Juuti, J. Lampiselkä, A. Uitto & J. Lavonen (Hrsg.), *Cognitive and Affective Aspects in Science Education Research* (S. 207–218). Springer.
- Trygstad, P. J., Banilower, E. R., Smith, P. S. & Nelson, C. L. (2014). New Instruments for Studying the Impacts of Science Teacher Professional Development. *Horizon Research, Inc.*
- Twisk, J. W. R. (2006). *Applied multilevel analysis. A practical guide* (Practical guides to biostatistics and epidemiology). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511610806>
- Urban-Woldron, H. & Hopf, M. (2012). Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18(1), 201–227.
- Vairo, R. (2019). *Vergleichende Schulbuchanalyse zum Thema "Einfache Stromkreise"*. wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen der ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien. Goethe-Universität Frankfurt, Frankfurt am Main. Zugriff am 08.10.2019.
- Valentine, J. C., DuBois, D. L. & Cooper, H. (2004). The relation between self-beliefs and academic achievement: A meta-analytic review. *Educational Psychologist*, 39(2), 111–133.

- Van Driel, J. H., Jong, O. de & Verloop, N. (2002). The development of pre-service chemistry teachers' pedagogical content knowledge. *Science Education*, 86(4), 572–590. <https://doi.org/10.1002/sce.10010>
- Van Driel, J. H., Verloop, N. & Vos, W. de. (1998). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 673–695. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199808\)35:6<673::AID-TEA5>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199808)35:6<673::AID-TEA5>3.0.CO;2-J)
- VERBI Software. (2019). MAXQDA. Software für qualitative Datenanalyse [Computer software]. Berlin, Deutschland: VERBI.
- Verschueren, K., Doumen, S. & Buyse, E. (2012). Relationships with mother, teacher, and peers: Unique and joint effects on young children's self-concept. *Attachment & Human Development*, 14(3), 233–248.
- Vogelsang, C. (2013). *Validierung eines Instruments zur Erfassung der professionellen Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften: Zusammenhangsanalysen zwischen Lehrerkompetenz und Lehrperformanz*. Berlin: Logos-Verlag.
- Vollmer, G. (1975). Evolutionäre Erkenntnistheorie Angeborene Erkenntnisstrukturen Im Kontext von Biologie, Psychologie, Linguistik, Philosophie U. Wissenschaftstheorie.
- 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*: Springer-Verlag.
- Warm, T. A. (1989). Weighted likelihood estimation of ability in item response theory. *Psychometrika*, 54(3), 427–450. <https://doi.org/10.1007/BF02294627>
- Weinert, F. E. (2001). Concept of competence: A conceptual clarification. 08893724.
- Weinert, F. E. & Helmke, A. (1995). Interclassroom differences in instructional quality and interindividual differences in cognitive development. *Educational Psychologist*, 30(1), 15–20.
- Weiß, R. (2005). *CFT 20-R. Grundintelligenz Skala 2. Revision*. Göttingen.

- Wiesner, H., Jung, W., Kiowski, I. & Weber, E. (1982). Zur Einführung von Stromstärke und Spannung. *Naturwissenschaft im Unterricht P/C* S. 388, 394.
- Wiesner, H. & Stengl, D. (1984). Vorstellungen von Schülern der Primarstufe zu Temperature und Wärme. *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe*, 12, 445–452.
- Wilbers, J. & Duit, R. (2001). Heuristische Analogien und Postfestum-Analogien: Analogiebasierte Lernprozesse im Bereich des deterministischen Chaos. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 7, 83–104.
- Wild, E., Gerber, J., Exeler, J. & Remy, K. (2001). *Dokumentation der Skalen- und Item-Auswahl für den Kinderfragebogen zur Lernmotivation und zum emotionalen Erleben*. Bielefeld: Universität Bielefeld.
- Wilhelm, T. (2015). Moment mal...(18): Elektronen als Energieträger. *Naturwissenschaften Physik in der Schule*, 6, 64.
- Wilhelm, T. (2018a). Elektronen als Energieträger? In T. Wilhelm (Hrsg.), *Stolpersteine überwinden im Physikunterricht* (S. 96–99). Seelze: Aulis.
- Wilhelm, T. (2018b). Was ist eine gute Elementarisierung? In T. Wilhelm (Hrsg.), *Stolpersteine überwinden im Physikunterricht* (S. 6–8). Seelze: Aulis.
- Wilhelm, T. & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zum elektrischen Stromkreis. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (S. 115–138). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Wilhelm, T., Müller, S. & Burde, J.-P. (2015). Vergleich von Schülervorstellungen zur Elektrizitätslehre in Hessen und Weißrussland. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. Zugriff am 08.11.2017.
- Wilhelm, T. & Vairo, R. (2020). Vergleichende Schulbuchanalyse zur Einführung in die E-Lehre. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. GDCP-Jahrestagung 2019*. Duisburg-Essen.

- Wilson, S. M. (1990). A conflict of interests: The case of Mark Black. *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 12(3), 293–310.
- Wodzinski, R. (2013). *Lernhilfe oder Lernhindernis?: Modelle von Leitungsvorgängen in Stromkreisen unter der Lupe*: na.
- Wong, G. Y. & Mason, W. M. (1985). The hierarchical logistic regression model for multilevel analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 80(391), 513–524.
- Woodhouse, G., Yang, M., Goldstein, H. & Rasbash, J. (1996). Adjusting for measurement error in multilevel analysis. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)*, 159(2), 201–212.
- Woolfolk Hoy, A. & Davis, H. A. (2006). Teacher self-efficacy and its influence on the achievement of adolescents. *Self-efficacy beliefs of adolescents*, 5, 307–337.
- Woolfolk Hoy, A., Hoy, W. K. & Davis, H. A. (2009). Teachers' self-efficacy beliefs. In K. R. Wentzel & A. Wigfield (Hrsg.), *Handbook of motivation at school* (S. 627–653). New York: Routledge.
- Wright, B. D. & Masters, G. N. (1982). *Rating Scale Analysis. Rasch measurement*. Chicago, Ill.: Mesa Pr.
- Yang, Y., Liu, X. & Gardella Jr, J. A. (2020). Effects of a professional development program on science teacher knowledge and practice, and student understanding of interdisciplinary science concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 1–30. <https://doi.org/10.1002/tea.21620>
- Zhang, J. (2007). Conditional Covariance Theory and Detect for Polytomous Items. *Psychometrika*, 72(1), 69–91. <https://doi.org/10.1007/s11336-004-1257-7>

13 Anhang

13.1 Unterrichtslogbuch



Liebe Kolleginnen und Kollegen,

um eine Idee davon zu bekommen, wie unser Unterrichtskonzept von Ihnen in der Schulpraxis umgesetzt wird, sind wir auf Ihre Mithilfe angewiesen und bitten Sie deshalb um Ihre Unterstützung. Einige grundlegende Informationen zu Ihrem Unterricht sind dabei für uns auch in diesem Projektjahr von besonderem Interesse:

Normalerweise findet der Physikunterricht ...

nur im Klassenraum.

nur im Fachraum.

teilweise im Klassenraum und teilweise im Fachraum statt.

Wir bitten Sie für einen genaueren Überblick über Ihren Unterricht nach jeder Einzel-/Doppelstunde die entsprechende Zeile im Unterrichtstagebuch (siehe Seite 3 ff) auszufüllen.

Vielen herzlichen Dank für Ihre Unterstützung bei unserem Projekt. Wir wünschen viel Spaß bei der Umsetzung des Unterrichtskonzepts!

Univ.-Profⁱⁿ. Dr.ⁱⁿ Claudia Haagen-Schützenhöfer und Mag. Thomas Schubatzky, Universität Graz,

Prof. Dr. Thomas Wilhelm und Dr. Jan-Philipp Burde, Universität Frankfurt,

Profⁱⁿ. Dr.ⁱⁿ Verena Spatz und StRⁱⁿ Liza Dopatka, TU Darmstadt,

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf und Dr. Lana Ivanjek, Universität Wien

Das Unterrichtstagebuch

Um den Aufwand für Sie so gering wie möglich zu halten, haben wir versucht, die Dokumentation so kurz wie möglich zu gestalten. Ihnen ist es dabei überlassen, ob Sie das Tagebuch lieber händisch oder digital ausfüllen möchten.

Um sich ein besseres Bild machen zu können, wie das Unterrichtstagebuch ausgefüllt werden soll, finden Sie hier zwei Beispieleinträge:

Datum	Einzelstunde (E) oder Doppelstunde (D)	Schlüsselbegriffe bzw. Inhalte der Unterrichtseinheit	Eingesetzte Modelle/Analogien	Behandelte Seiten aus dem von uns bereitgestellten Schulbuch	Verwendete Folien aus der online zur Verfügung gestellten PowerPoint	Demonstrationsexperiment eingesetzt (Stichwort)	Schülerexperiment eingesetzt (Stichwort)	Bearbeitete Übungsaufgaben aus „unserem“ Schulbuch	Zusätzlich eingesetztes Material (Schulbuch, Leifi Physik,...)	Zusätzlich eingesetztes Material (Schulbuch, Leifi Physik,...)
									Welches Material?	Welcher Inhalt wurde damit behandelt?

13.2 Tests auf Normalverteilung der Schüler- Fachwissenstests

Tabelle 40: Shapiro-Wilk Tests der Schüler-Fachwissenstests zur Überprüfung einer Normalverteilung innerhalb der Klassen. Bei signifikanten Werten ($p < .05$) liegt eine signifikante Abweichung von einer Normalverteilung vor.

C-ID	Prä SK		Post SK		C-ID	Prä SK		Post SK	
	W	p	W	p		W	p	W	p
1	.873	.013	.977	.898	22	.782	.001	.925	.076
2	.829	.001	.960	.438	23	.886	.011	.970	.662
3	.536	.000	.919	.384	24	.959	.528	.934	.186
4	.855	.020	.900	.095	25	.877	.035	.905	.100
5	.846	.004	.942	.267	26	.805	.001	.947	.294
6	.925	.143	.947	.353	27	.932	.075	.925	.052
7	.948	.239	.959	.422	28	.900	.013	.944	.157
8	.938	.101	.951	.204	29	.839	.004	.929	.166
9	.858	.003	.934	.119	30	.878	.011	.964	.523
10	.919	.063	.961	.490	31	.898	.089	.934	.315
11	.926	.078	.921	.060	32	.927	.066	.928	.069
12	.820	.007	.954	.593	33	.931	.105	.956	.361
13	.904	.035	.960	.483	34	.953	.449	.910	.070
14	.631	.000	.961	.464	35	.855	.008	.909	.070
15	.937	.125	.922	.058	36	.853	.004	.954	.432
16	.893	.011	.946	.186	37	.901	.023	.926	.053
17	.915	.105	.939	.282	38	.889	.010	.951	.242
18	.911	.121	.933	.276	39	.884	.037	.962	.670
19	.944	.256	.950	.336	40	.956	.564	.955	.536
20	.894	.032	.934	.187	41	.922	.126	.926	.147
21	.841	.022	.940	.463					

13.3 Tests auf Normalverteilung des Fachinteresses der SchülerInnen

Tabelle 41: Shapiro-Wilk Tests des Fachinteresses der SchülerInnen zur Überprüfung einer Normalverteilung innerhalb der Klassen. Bei signifikanten Werten ($p < .05$) liegt eine signifikante Abweichung von einer Normalverteilung vor.

C-ID	Prä FI		Post FI		C-ID	Prä FI		Post FI	
	W	p	W	p		W	p	W	p
1	.970	.747	.947	.328	22	.907	.060	.943	.186
2	.972	.706	.938	.146	23	.966	.571	.958	.401
3	.893	.213	.889	.193	24	.962	.580	.942	.258
4	.981	.974	.894	.076	25	.982	.975	.952	.525
5	.973	.824	.965	.654	26	.946	.287	.944	.262
6	.941	.278	.977	.899	27	.925	.055	.960	.367
7	.889	.012	.928	.089	28	.935	.067	.955	.286
8	.951	.207	.963	.417	29	.951	.446	.922	.124
9	.974	.762	.953	.312	30	.917	.064	.915	.062
10	.957	.414	.971	.705	31	.971	.877	.977	.944
11	.962	.470	.944	.120	32	.965	.644	.970	.760
12	.896	.100	.974	.911	33	.966	.520	.947	.192
13	.918	.070	.967	.641	34	.964	.524	.975	.787
14	.957	.519	.936	.221	35	.979	.931	.935	.211
15	.952	.281	.893	.013	36	.971	.809	.969	.749
16	.975	.750	.963	.462	37	.934	.150	.942	.214
17	.808	.002	.956	.530	38	.958	.402	.933	.124
18	.938	.321	.942	.369	39	.976	.768	.941	.102
19	.968	.693	.965	.616	40	.971	.849	.955	.540
20	.955	.443	.959	.526	41	.952	.487	.966	.737
21	.906	.161	.941	.472					

13.4 Tests auf Normalverteilung des physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen

Tabelle 42: Shapiro-Wilk Tests des physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen zur Überprüfung einer Normalverteilung innerhalb der Klassen. Bei signifikanten Werten ($p < .05$) liegt eine signifikante Abweichung von einer Normalverteilung vor.

Prä FW-Test		Post FW-Test		Prä FW-Test		Post FW-Test			
C-ID	W	p	W	p	C-ID	W	p	W	p
1	.939	.229	.928	.141	22	.938	.300	.936	.278
2	.920	.060	.977	.832	23	.954	.325	.951	.291
3	.882	.165	.846	.077	24	.970	.750	.956	.469
4	.947	.476	.981	.977	25	.947	.445	.926	.106
5	.960	.434	.970	.762	26	.927	.119	.952	.368
6	.929	.167	.985	.986	27	.976	.775	.980	.858
7	.836	.001	.926	.078	28	.962	.404	.975	.727
8	.968	.532	.968	.519	29	.964	.677	.921	.120
9	.973	.746	.966	.570	30	.958	.444	.973	.780
10	.944	.217	.956	.285	31	.884	.053	.886	.060
11	.976	.803	.975	.800	32	.955	.457	.923	.113
12	.953	.614	.970	.861	33	.971	.658	.978	.836
13	.946	.263	.945	.242	34	.984	.952	.981	.921
14	.863	.124	.946	.219	35	.948	.367	.987	.992
15	.938	.130	.950	.248	36	.943	.329	.966	.694
16	.957	.329	.980	.863	37	.966	.629	.946	.265
17	.951	.443	.938	.263	38	.947	.234	.969	.668
18	.969	.830	.950	.485	39	.979	.858	.967	.545
19	.976	.853	.979	.916	40	.960	.576	.978	.911
20	.976	.864	.969	.741	41	.969	.801	.970	.827
21	.975	.945	.894	.112					

13.5 Infit- und Outfitwerte der eingesetzten Testinstrumente und Skalen

13.5.1 Infit- und Outfitwerte des TSPK-Tests

Tabelle 43: MnSQ Outfit- und Infitwerte für die Items des finalen TSPK-Testinstruments. Items mit der Bezeichnung A stammen aus dem Testinstrument von Joswig & Riese (2019). Items mit der Bezeichnung F sind auf Basis von Ergönenc (2010) weiter- oder selbstentwickelte Items.

Item	Outfit	Infit	Item	Outfit	Infit
A1	1.05	1.02	A10	1.04	1.05
A2	0.99	1.00	A11	1.14	1.12
A3	1.10	1.10	A11b	0.96	0.96
A4	1.14	1.11	A12	0.92	0.93
A5	1.02	1.02	F4	0.95	0.96
A6	0.94	0.96	F5	0.85	0.95
A7	0.92	0.93	F6	1.03	1.03
A8	0.99	0.99	F7	0.91	0.92
A9	1.04	1.05	F8	0.93	0.93

13.5.2 Infit- und Outfitwerte der Skala epistemologische Vorstellungen

Tabelle 44: MnSQ Outfit- und Infitwerte für die Skala epistemologische Vorstellungen (Riese, 2009).

Item	Outfit	Infit
Item 1	0.91	0.91
Item 2	1.25	1.28
Item 3	0.91	0.89
Item 4	1.10	1.11
Item 5	0.87	0.85

13.5.3 Infit- und Outfitwerte der Skala Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen

Tabelle 45: Outfit- und Infitwerte für die Skala Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen (Meinhardt, 2018).

Item	Outfit	Infit	Item	Outfit	Infit
Item 1	1.02	1.02	Item 5	0.86	0.86
Item 2	1.07	1.08	Item 6	1.06	1.06
Item 3	0.93	0.92	Item 7	1.06	1.07
Item 4	1.06	1.06			

13.5.4 Infit- und Outfitwerte des Testinstruments zu einfachen Stromkreisen

Tabelle 46: Outfit- und Infitwerte für die Items des Testinstruments zu einfachen Stromkreisen (Ivanjek et al., 2019; Urban-Woldron & Hopf, 2012)

Item	Outfit	Infit	Item	Outfit	Infit
Item 1	1.21	1.03	Item 14	0.91	.094
Item 2	0.98	0.99	Item 15	0.92	0.94
Item 3	1.12	1.10	Item 16	0.99	1.01
Item 4	0.96	0.97	Item 17	0.93	0.96
Item 5	1.11	1.07	Item 18	1.01	0.97
Item 6	0.92	0.95	Item 19	1.14	1.09
Item 7	1.01	1.00	Item 20	1.02	0.95
Item 8	1.06	1.05	Item 21	0.91	0.96
Item 9	1.03	1.01	Item 22	0.93	0.92
Item 10	0.85	0.94	Item 23	1.16	1.04
Item 11	0.95	0.96	Item 24	1.51	1.06
Item 12	0.86	0.98	Item 25	1.56	1.05
Item 13	1.17	1.02	Item 26	1.86	1.06

13.5.5 Infit- und Outfitwerte der Skala Interesse am Fach Physik

Tabelle 47: MnSQ Outfit- und Infitwerte für die Skala Interesse am Fach Physik .

Item	Outfit	Infit	Item	Outfit	Infit
Item 1	0.89	0.81	Item 5	1.02	1.02
Item 2	1.19	1.20	Item 6	1.10	1.09
Item 3	1.07	1.08	Item 7	0.82	0.84
Item 4	1.20	1.18	Item 8	0.89	0.88

13.5.6 Infit- und Outfitwerte der Skala physikbezogenes Selbstkonzept

Tabelle 48: MnSQ Outfit- und Infitwerte für die Skala physikbezogenes Selbstkonzept.

Item	Outfit	Infit	Item	Outfit	Infit
Item 1	0.90	0.91	Item 5	1.01	1.00
Item 2	1.07	1.06	Item 6	0.86	0.85
Item 3	0.83	0.85	Item 7	1.20	1.17
Item 4	1.14	1.15			

14 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wirkkette schulischer Bildung. Quelle: Vogelsang (2013, S. 20), nach Terhart (2012)	9
Abbildung 2: Angebots- und Nutzungs- Modell nach Helmke (2015). Quelle: Helmke (2015, S. 71)	10
Abbildung 3: Modell professioneller Handlungskompetenz (angehender) Physiklehrkräfte. Quelle: Riese (2009, S. 26).....	12
Abbildung 4: Modell des fachdidaktischen Wissens nach Gramzow (2015) basierend auf Riese (2009). Quelle: Gramzow (2015, S. 97)	15
Abbildung 5: Das "Model of Teacher Professional Knowledge and Skill (TPK&S)" nach Gess-Newsome (2015), auch oft als Consensus Model bezeichnet. Quelle: Berry et al. (2015, S. 31).....	18
Abbildung 6: Das Refined Consensus Model (RCM) of PCK als Ergebnis des zweiten PCK-Summit. Quelle: Hume, Cooper & Borowski (2019, S. 83).....	21
Abbildung 7: Modell des naturwissenschaftsbezogenen fachspezifisch- pädagogischen Wissens. Quelle: Lange (2010, S. 80)	29
Abbildung 8: Übersicht der erhobenen PCK-Facetten im Projekt QUIP. Quelle: Ergönenc (2010, S. 50).....	40
Abbildung 9: Modell zur Konzeption von PCK-Items im Zuge des Projekts ProwiN. Quelle: Tepner et al. (2012, S. 19).....	46
Abbildung 10: Intendierte Wirkpfade im Zuge des Projekts PRIME. Quelle: Gess-Newsome et al. (2017, S. 947)	53
Abbildung 11: Modell der didaktischen Rekonstruktion nach Duit et al. (2012). (Quelle: Plotz, 2017)	65
Abbildung 12: Sachstrukturdiagramm einer Unterrichtsstunde zur Einführung des Kraftbegriffs. Quelle: Müller & Duit (2004, S. 152)	70
Abbildung 13: Darstellung einer Concept-Map basierend auf einem einzelnen Satz. Quelle: Helaakoski & Viiri, (2011, S. 66)	73
Abbildung 14: Eine Analogie als Ähnlichkeit zwischen einem Ausgangs- und Zielbereich nach Duit und Glynn (1995). Quelle: Burde (2018, S. 56)	76
Abbildung 15: Repräsentationsformen eines Lehrplans. Quelle: Vollstädt et al. (1999, S. 15)	79
Abbildung 16: Ausschnitt aus dem Lehrplan für die siebte Jahrgangsstufe in Bayern im Schuljahr 2017/18. Quelle: bayrisches Kultusministerium (2009, S. 34).....	80
Abbildung 17: Ausschnitt aus dem letztgültigen G8-Lehrplan für die siebte Jahrgangsstufe in Hessen im Schuljahr 2017/18. Quelle: hessisches Kultusministerium (2010)	81
Abbildung 18: Ausschnitt aus dem letztgültigen G8-Lehrplan für die achte Jahrgangsstufe in Hessen im Schuljahr 2017/18. Quelle: hessisches Kultusministerium (2010)	81

Abbildung 19: Ausschnitt aus dem letztgültigen G9-Lehrplan für die siebte Jahrgangsstufe in Hessen im Schuljahr 2017/18. Quelle: hessisches Kultusministerium (2004)	82
Abbildung 20: Ausschnitt aus dem letztgültigen G9-Lehrplan für die achte Jahrgangsstufe in Hessen im Schuljahr 2017/18. Quelle: hessisches Kultusministerium (2004)	82
Abbildung 21: Ausschnitt aus dem Lehrplan für die siebte Jahrgangsstufe in Österreich im Schuljahr 2017/18. Quelle: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (2000)	83
Abbildung 22: Indirekte Lehrplanwirkungen am Beispiel von Schulbüchern und Unterrichtsmaterialien. Quelle: Vollstädt et al. (1999, S. 16)..	84
Abbildung 23: Das Münchner Stäbchenmodell nach Gleixner. Quelle: Burde & Wilhelm (2017, S. 11), vgl. Koller (2008, S. 122).....	96
Abbildung 24: Vergleich einer Fahrradkette mit einem einfachen elektrischen Stromkreis. Quelle: Burde (2018, S. 70), nach Burde und Wilhelm (2017, S. 12)	101
Abbildung 25: Das Münchner Stäbchenmodell nach Gleixner. Quelle: Burde & Wilhelm (2017, S. 11), vgl. Koller (2008, S. 122).....	102
Abbildung 26: Analogiemodell des offenen Wasserkreislaufs. Quelle: Burde (2018, S. 68), nach Burde und Wilhelm (2017, S.11)	103
Abbildung 27: Vergleich eines ebenen geschlossenen Wasserkreislaufs mit einem elektrischen Stromkreis. Quelle: Burde und Wilhelm (2018, S. 8)	104
Abbildung 28: Rucksackmodell des einfachen elektrischen Stromkreises. Quelle: Wilhelm (2018a, S. 96)	106
Abbildung 29: Farbdarstellung (rechts) sowie Punktedichtedarstellung (links) des elektrischen Drucks. Quelle: Burde und Wilhelm (2015b, S. 29)	109
Abbildung 30: Schrittweise Analyse der Spannungs- und Stromstärkenverhältnisse in einer Reihenschaltung von zwei Glühlämpchen anhand von Übergangszuständen. Quelle: Burde & Wilhelm (2015b, S. 32).....	110
Abbildung 31: Übersicht über die beiden Untersuchungsstränge sowie drei Phasen des Projekts EPo-EKo. Die grau hinterlegten Felder markieren den aktuellen Untersuchungsstrang.	112
Abbildung 32: Model of Teacher Professional Knowledge and Skill. In dieser Dissertation werden Zusammenhänge zwischen Lehrkräfteressourcen (im Modell in Orange eingefärbt) und Wirkungen auf Schülerebene (in Grün eingefärbt) untersucht. Elemente der Sachstruktur als Aspekte der Classroom Practice der Lehrkräfte (in Blau eingefärbt) werden explorativ untersucht. Quelle: Gess-Newsome (2015, S. 31)	114
Abbildung 33: Das orange und grüne Feld stellen die untersuchten Zusammenhänge anhand der Wirkkette schulischer Bildung (Terhart, 2012) dar. Die Färbung der einzelnen Teile entspricht der Färbung in Abbildung 32. Quelle: Terhart (2012)	115
Abbildung 34: Übersicht über das Studiendesign zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Lehrkräftemerkmalen und dem fachlichen Lernerfolg der SchülerInnen. Orange eingefärbte Blöcke	

stellen unabhängige Variablen auf Lehrkräfteebene dar, grün eingefärbte Blöcke abhängige Variablen auf Individualebene der SchülerInnen, grau eingefärbte Blöcke stellen kontrollierte Variablen auf Individual- und blau eingefärbte Blöcke auf Klassenebene dar.....	119
Abbildung 35: Schematische Darstellung des Studiendesigns für die vorliegende Dissertationsstudie.	127
Abbildung 36: Beispiel einer Wright-Map. In der unteren Abbildungshälfte ist die Verteilung der Personenfähigkeiten des Samples in Logits zu sehen. In der oberen Abbildungshälfte ist die Verteilung der Itemschwierigkeiten der jeweiligen Items in Logits aufgetragen.	133
Abbildung 37: Schematische Darstellung der hierarchischen Datenstruktur mittels zweier Ebenen. Quelle: Kuhn (2014).....	135
Abbildung 38: Modellgleichung eines Random-Coefficient Modells inklusive Beschreibungen der einzelnen Terme.	139
Abbildung 39: Beispiel einer MDS-Konfiguration.....	143
Abbildung 40: Itementwicklungsmodell des fachdidaktischen Wissens. Quelle: Riese et al. (2017).....	145
Abbildung 41: Beispielitem zur Facette Instruktionsstrategie aus dem von Joswig & Riese (2020) entwickelten Testinstrument.....	149
Abbildung 42: Adaptiertes Beispielitem zur Facette Schülervorstellungen basierend auf dem von Ergönenc (2010) entwickelten Testinstrument.....	149
Abbildung 43:Wright-Map des TSPK-Tests. Im oberen Teil der Abbildung sind die Items mit ihrer Itemschwierigkeit abgebildet. Die schwarzen Vierecke geben die mittlere Itemschwierigkeit an, die roten Punkte die Itemschwierigkeit für einen Punkt auf ein Item, die grünen Punkte für zwei Punkte auf das Item. Der untere Graph zeigt die Verteilung der Personenfähigkeiten.	152
Abbildung 44: Beispielitem der Skala epistemologische Vorstellungen. Quelle: Riese (2009)	153
Abbildung 45: Wright-Map der Skala zu epistemologischen Vorstellungen. Die Punkte im oberen Teil der Abbildung stehen dabei von links nach rechts gelesen für die Itemschwierigkeiten der jeweiligen Antwortkategorien auf der Likert-Skala.	154
Abbildung 46: Beispielitem der Skala Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen. Quelle: Meinhardt, Rabe & Krey (2016)	155
Abbildung 47: Wright-Map zur Skala Selbstwirksamkeitserwartungen im Handlungsfeld Schülervorstellungen. Die Punkte im oberen Teil der Abbildung stehen dabei von links nach rechts gelesen für die Itemschwierigkeiten der jeweiligen Antwortkategorien auf der Likert-Skala.....	156
Abbildung 48: Beispielitem des Schülerfachwissenstests zu einfachen Stromkreisen. Quelle: Morris et al. (2018)	158
Abbildung 49: Wright-Map des konzeptuellen Tests zu einfachen Stromkreisen. Unten die Verteilung der Personenfähigkeiten im Prä-Test, oben im Post-Test.	160

Abbildung 50: Beispielitem der Skala Fachinteresse Physik.	162
Abbildung 51: Wright-Map zur Skala Interesse am Fach Physik. Unten die Verteilung der Personenfähigkeiten im Prä-Test, oben im Post-Test.	163
Abbildung 52: Beispielitem der Skala physikbezogenes Selbstkonzept. .	164
Abbildung 53: Wright-Map zur Skala physikbezogenes Selbstkonzept. Unten die Verteilung der Personenfähigkeiten im Prä-Test, oben im Post-Test.....	166
Abbildung 54: Das in dieser Dissertationsstudie eingesetzte Unterrichtslogbuch in der österreichischen Version (Die beiden Einträge sind erdachte Beispiele).....	169
Abbildung 55: Beispielhafte Ausschnitte (abgebildet sind die ersten sechs Spalten) aus den Unterrichtslogbüchern zweier Lehrkräfte (LK4, LK 17).	169
Abbildung 56: Verteilung der TSPK-Personenfähigkeiten der 32 Lehrkräfte.	177
Abbildung 57: Darstellung der relevanten Ebene-1 Prädiktoren des Random-Intercept-Modells M4. Die Punkte stellen die Schätzungen der einzelnen Prädiktoren dar, die Fehlerbalken stellen die 95%- Konfidenzintervalle der Schätzungen dar.	186
Abbildung 58: Darstellung des Modells M11 unter Aufnahme aller erhobenen relevanten Ebene 1 und Ebene 2 Prädiktoren. Die Punkte stellen die Schätzungen der einzelnen Prädiktoren dar, die Fehlerbalken stellen die 95%-Konfidenzintervalle der Schätzungen dar.....	195
Abbildung 59: Graphischer Vergleich der beiden Modelle M10 und M10a. Die Punkte stellen die Schätzungen der einzelnen Prädiktoren dar, die Fehlerbalken stellen die 95%-Konfidenzintervalle der Schätzungen dar.	197
Abbildung 60: Darstellung des Modells M11a unter Aufnahme aller erhobenen relevanten Ebene 1 und Ebene 2 Prädiktoren. Die Punkte stellen die Schätzungen der einzelnen Prädiktoren dar, die Fehlerbalken stellen die 95%-Konfidenzintervalle der Schätzungen dar.....	198
Abbildung 61: Plot des Interaktionseffekts TSPK-Dienstjahre. Die rote Gerade stellt den Zusammenhang des TSPK einer Lehrkraft mit einer Anzahl an Dienstjahren, die eine Standardabweichung unter der mittleren Anzahl an Dienstjahren liegt, dar. Die blaue Gerade stellt den Zusammenhang des TSPK einer Lehrkraft mit einer für das Sample durchschnittlichen Anzahl an Dienstjahren dar. Die Werte auf der y-Achse beziehen sich auf Abweichungen vom Gesamtmittelwert des Ergebnisses im Post-Fachwissenstest der SchülerInnen.	200
Abbildung 62: Zusammenhang zwischen dem Prä-Selbstkonzept und Post- Fachinteresse der SchülerInnen in den jeweiligen Klassen. In den jeweiligen Kästchen werden der Klassencode (z.B. F0K02) und die berechnete Regressionsgerade für diese Klasse dargestellt.	204
Abbildung 63: Plot des Interaktionseffekts SWE:SV * SK _{prä} . Die blaue Gerade stellt den Zusammenhang der Selbstwirksamkeitserwartung	

einer Lehrkraft mit einer hohen Selbstwirksamkeitserwartung, die eine Standardabweichung über der mittleren Selbstwirksamkeitserwartung liegt, dar. Die rote Gerade stellt den Zusammenhang der Selbstwirksamkeitserwartung einer Lehrkraft mit einer Selbstwirksamkeitserwartung, die eine Standardabweichung unter dem Mittel liegt, dar.	207
Abbildung 64: Relative Häufigkeiten der thematisierten Inhalte der Lehrkräfte. Die relativen Häufigkeiten entsprechen dem relativen Anteil der Lehrkräfte, die den entsprechenden Inhalt thematisiert haben.	213
Abbildung 65: Relative Häufigkeiten der thematisierten Inhalte der in Bayern unterrichtenden Lehrkräfte (N = 10). Die relativen Häufigkeiten entsprechen dem relativen Anteil der Lehrkräfte, die den entsprechenden Inhalt thematisiert haben.	214
Abbildung 66: Relative Häufigkeiten der thematisierten Inhalte der in Hessen unterrichtenden Lehrkräfte (N = 6). Die relativen Häufigkeiten entsprechen dem relativen Anteil der Lehrkräfte, die den entsprechenden Inhalt thematisiert haben.	216
Abbildung 67: Relative Häufigkeiten der thematisierten Inhalte der in Österreich unterrichtenden Lehrkräfte (N = 16). Die relativen Häufigkeiten entsprechen dem relativen Anteil der Lehrkräfte, die den entsprechenden Inhalt thematisiert haben.	217
Abbildung 68: Konfiguration als Ergebnis der multidimensionalen Skalierung der Ähnlichkeiten der thematisierten Inhalte aller Lehrkräfte. Aus Übersichtsgründen sind nur Inhalte, die von mehr als 20 % der Lehrkräfte thematisiert wurden, dargestellt.	219
Abbildung 69: Abfolgemuster der am häufigsten thematisierten Inhalte der Lehrkräfte. Die Zahlen in den jeweiligen Feldern stehen für die Anzahl der Lehrkräfte, die die Inhalte in der dargestellten Reihenfolge unterrichtet haben.	221

15 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bezeichnungen zweier Komponenten des fachspezifisch-pädagogischen Wissens von Lehrkräften, die in der Dissertationsstudie von Lange (2010) untersucht wurden.	30
Tabelle 2: Übersicht über die in Kapitel 3	62
Tabelle 3: Übersicht der Definitionen des Spannungsbegriffs in den vier hessischen Schulbüchern. Quelle: Vairo (2019, S. 8).....	86
Tabelle 4: Ausgewählte Schlüsselbegriffe, in der zeitlichen Reihenfolge (chronologisch von oben nach unten) in der sie in den Büchern eingeführt werden. Die Position der Begriffe elektrische Stromstärke (dunkelgrau) und elektrische Spannung (hellgrau) wurde hervorgehoben. Quelle: Vairo (2019, S. 39)	88
Tabelle 5: Übersicht der Definitionen des Spannungsbegriffs in den vier österreichischen Schulbüchern.....	91
Tabelle 6: Ausgewählte Schlüsselbegriffe, in der zeitlichen Reihenfolge (von oben nach unten) wie sie in den untersuchten österreichischen Büchern eingeführt werden. Die Position der Begriffe elektrische Stromstärke (dunkelgrau) und elektrische Spannung (hellgrau) wurde hervorgehoben. Quelle: Schubatzky et al. (2019).....	92
Tabelle 7: Genutzte Analogien und Analogiemodelle in den vier untersuchten Schulbüchern. Alle Inhalte, die anhand einer Wasseranalogie eingeführt werden, sind grau markiert. Quelle: Schubatzky et al. (2019, S. 7)	93
Tabelle 8: Demographischer Hintergrund, Lehrerfahrung und Anzahl der unterrichteten Schulstunden im Fach Physik im Schuljahr 2017/18 der 32 Lehrkräfte.....	129
Tabelle 9: Demographischer Hintergrund der Lernenden auf Individualebene.	130
Tabelle 10: Zusammensetzung der Stichprobe für die Pilotierung des TSPK-Testinstruments.	150
Tabelle 11: Deskriptive Statistik für den Fachwissenstest der Lernenden auf Schülerebene (N = 874). Die Zahlen sind in logits angegeben.....	159
Tabelle 12: Deskriptive Statistik für das Fachinteresse der Lernenden auf Schülerebene (N = 874), angegeben in logits.	162
Tabelle 13: Deskriptive Statistik für das physikbezogene Selbstkonzept der Lernenden auf Schülerebene (N = 874), angegeben in logits.	165
Tabelle 14: Kategoriensystem.....	171
Tabelle 15: Übersicht über Kategoriensystem der eingesetzten Analogiemodelle im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht.	173
Tabelle 16: Deskriptive Statistik für das TSPK der Lehrkräfte, Physiklehramtsstudierenden und UnterrichtspraktikantInnen in Physik.....	178
Tabelle 17: Korrelationen zwischen den untersuchten Lehrkräftemerkmalen (N = 32). epVor steht dabei für epistemologische Vorstellungen, SWE für Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen. Die Angaben in den eckigen Klammern	

stellen die 95%-Konfidenzintervalle der Korrelationen dar. ** steht für $p < .01$	178
Tabelle 18: Vergleich des Null-Modells mit M1 zur Vorhersage der Leistungen im Post-Fachwissenstest. $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen.	181
Tabelle 19: Vergleich der Modelle M1 mit M2 zur Vorhersage der Leistungen im Post-Fachwissenstest. $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{\text{prä}}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test.	182
Tabelle 20: Vergleich des Modells M2 mit M3 zur Vorhersage der Leistungen im Post-Fachwissenstest. $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{\text{prä}}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test.	183
Tabelle 21: Vergleich des Modells M3 mit M4 zur Vorhersage der Leistungen im Post-Fachwissenstest. $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{\text{prä}}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test.	184
Tabelle 22: Vergleich des Modells M4 mit M5 zur Vorhersage der Leistungen im Post-Fachwissenstest. $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{\text{prä}}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test. $FI_{\text{prä}}$ steht für das Fachinteresse Physik der SchülerInnen im Prä-Test.	185
Tabelle 23: Vergleich von M4 mit M6 unter Hinzufügen des Ebene-2-Prädiktors Land. $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{\text{prä}}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test.	187
Tabelle 24: Vergleich von M6 mit M7 unter Hinzufügen des Ebene-2-Prädiktors Unterrichtszeit. $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{\text{prä}}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test.	189
Tabelle 25: Vergleich von M6 mit M8 unter Hinzufügen des Ebene-2-Prädiktors Dienstjahre. $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{\text{prä}}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test.	190
Tabelle 26: Vergleich von M8 mit M9 unter Hinzufügen des Ebene-2-Prädiktors Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen (SWE). $FW_{\text{prä}}$ steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. $SK_{\text{prä}}$ steht für das physikbezogene Selbstkonzept	

der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test.	191
Tabelle 27: Vergleich von M8 mit M10 unter Hinzufügen des Ebene-2 Prädiktors epistemologische Vorstellungen (epVor). FW _{prä} steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. SK _{prä} steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test.	193
Tabelle 28: Vergleich von M10 mit M11 unter Hinzufügen des Ebene-2-Prädiktors TSPK. FW _{prä} steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. SK _{prä} steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test, epVor für die epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte.	194
Tabelle 29: Vergleich von M11 mit M11a unter Hinzufügen eines Interaktionseffektes zwischen dem TSPK und den Dienstjahren der Lehrkräfte. FW _{prä} steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. SK _{prä} steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test, epVor für die epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte.	196
Tabelle 30: Vergleich der Modelle, die aus einem Median-Split bezüglich der Dienstjahre resultieren. FW _{prä} steht für das Prä-Test-Ergebnis der SchülerInnen. SK _{prä} steht für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test. FDV steht für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen, VDV für das verbale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test. FI _{prä} steht für das Fachinteresse Physik der SchülerInnen im Prä-Test, epVor für die epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte..	201
Tabelle 31: Random-Intercept-Modell MF1 zum Fachinteresse Physik, welches die relevanten Ebene-1-Prädiktoren beinhaltet. FI _{prä} steht für das Fachinteresse der SchülerInnen im Prä-Test, SK _{prä} für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test.	203
Tabelle 32: Vergleich der Modelle MF2 und MF3 unter Hinzufügen der Ebene-2-Prädiktoren Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen (SWE:SV) sowie epistemologische Vorstellungen (epVor). FI _{prä} steht für das Fachinteresse der SchülerInnen im Prä-Test, SK _{prä} für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test.	205
Tabelle 33: Überblick über das RCM MF3a, welches den Interaktionseffekt zwischen der Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte (SWE:SV) und dem Prä-Selbstkonzept der SchülerInnen enthält. FI _{prä} steht für das Fachinteresse der SchülerInnen im Prä-Test, SK _{prä} für das physikbezogene Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test, epVor für die epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte.....	206

Tabelle 34: Modell MS1 zum physikbezogenen Selbstkonzept, welches die relevanten Ebene-1-Prädiktoren beinhaltet und Variation der Steigungen in Bezug auf das Prä-Fachinteresse der SchülerInnen zulässt. CKprä steht für das Fachwissen der SchülerInnen im Prä-Test, SKprä für das Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test, FDV für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test.	209
Tabelle 35: Vergleich der beiden Modelle MS1 und MS2. CKprä steht für das Fachwissen der SchülerInnen im Prä-Test, SKprä für das Selbstkonzept der SchülerInnen im Prä-Test, FDV für das figurale Denkvermögen der SchülerInnen im Prä-Test. SWE:SV steht für die Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Handlungsfeld Schülervorstellungen, epVor für die epistemologischen Vorstellungen der Lehrkräfte.	210
Tabelle 36: Übersicht über die resultierenden Kategorien der thematisierten Inhalte inklusive deren absoluter (Abs) sowie relativer (Rel) Häufigkeit.	212
Tabelle 37: Zeitliche Reihenfolge der Definition der Grundgrößen „elektrische Spannung“ und „elektrische Stromstärke“ im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht der Lehrkräfte. Δt steht dabei für den zeitlichen Unterschied der Einführung der beiden Grundgrößen gemessen in Unterrichtsstunden. X steht für den Fall, dass die beiden Grundgrößen nicht thematisiert wurden.	222
Tabelle 38: Eingesetzte Analogiemodelle aller Lehrkräfte der Stichprobe.	223
Tabelle 39: Eingesetzte Analogiemodelle der Lehrkräfte aufgeteilt nach Bayern, Hessen und Österreich. Die Prozentzahl bezieht sich dabei auf den jeweiligen Standort.	225
Tabelle 40: Shapiro-Wilk Tests der Schüler-Fachwissenstests zur Überprüfung einer Normalverteilung innerhalb der Klassen. Bei signifikanten Werten ($p < .05$) liegt eine signifikante Abweichung von einer Normalverteilung vor.	297
Tabelle 41: Shapiro-Wilk Tests des Fachinteresses der SchülerInnen zur Überprüfung einer Normalverteilung innerhalb der Klassen. Bei signifikanten Werten ($p < .05$) liegt eine signifikante Abweichung von einer Normalverteilung vor.	298
Tabelle 42: Shapiro-Wilk Tests des physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen zur Überprüfung einer Normalverteilung innerhalb der Klassen. Bei signifikanten Werten ($p < .05$) liegt eine signifikante Abweichung von einer Normalverteilung vor.	299
Tabelle 43: MnSQ Outfit- und Infitwerte für die Items des finalen TSPK-Testinstruments. Items mit der Bezeichnung A stammen aus dem Testinstrument von Joswig & Riese (2019). Items mit der Bezeichnung F sind auf Basis von Ergönenc (2010) weiter- oder selbstentwickelte Items.	300
Tabelle 44: MnSQ Outfit- und Infitwerte für die Skala epistemologische Vorstellungen (Riese, 2009).	300

Tabelle 45: Outift- und Infitwerte für die Skala Selbstwirksamkeitserwartung im Handlungsfeld Schülervorstellungen (Meinhardt, 2018).	301
Tabelle 46: Outift- und Infitwerte für die Items des Testinstruments zu einfachen Stromkreisen (Ivanjek et al., 2019; Urban-Woldron & Hopf, 2012)	301
Tabelle 47: MnSQ Outift- und Infitwerte für die Skala Interesse am Fach Physik	302
Tabelle 48: MnSQ Outift- und Infitwerte für die Skala physikbezogenes Selbstkonzept.	302

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 instrukionaler 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 Finkenberg: Flipped Classroom im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-4737-4 42.50 EUR
- 261 Florian Treisch: Die Entwicklung der Professionellen Unterrichtswahrnehmung im Lehr-Lern-Labor Seminar
ISBN 978-3-8325-4741-4 41.50 EUR
- 262 Desiree Mayr: Strukturiertheit des experimentellen naturwissenschaftlichen Problemlöseprozesses
ISBN 978-3-8325-4757-8 37.00 EUR
- 263 Katrin Weber: Entwicklung und Validierung einer Learning Progression für das Konzept der chemischen Reaktion in der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-4762-2 48.50 EUR
- 264 Hauke Bartels: Entwicklung und Bewertung eines performanznahen Videovignetten-tests zur Messung der Erklärfähigkeit von Physiklehrkräften
ISBN 978-3-8325-4804-9 37.00 EUR
- 265 Karl Marniok: Zum Wesen von Theorien und Gesetzen in der Chemie. *Begriffsanalyse und Förderung der Vorstellungen von Lehramtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-4805-6 42.00 EUR
- 266 Marisa Holzapfel: Fachspezifischer Humor als Methode in der Gesundheitsbildung im Übergang von der Primarstufe zur Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-4808-7 50.00 EUR
- 267 Anna Stolz: Die Auswirkungen von Experimentiersituationen mit unterschiedlichem Öffnungsgrad auf Leistung und Motivation der Schülerinnen und Schüler
ISBN 978-3-8325-4781-3 38.00 EUR
- 268 Nina Ulrich: Interaktive Lernaufgaben in dem digitalen Schulbuch eChemBook. *Einfluss des Interaktivitätsgrads der Lernaufgaben und des Vorwissens der Lernenden auf den Lernerfolg*
ISBN 978-3-8325-4814-8 43.50 EUR

- 269 Kim-Alessandro Weber: Quantenoptik in der Lehrerfortbildung. *Ein bedarfsgeprägtes Fortbildungskonzept zum Quantenobjekt Photon mit Realexperimenten*
ISBN 978-3-8325-4792-9 55.00 EUR
- 270 Nina Skorsetz: Empathisierer und Systematisierer im Vorschulalter. *Eine Fragebogen- und Videostudie zur Motivation, sich mit Naturphänomenen zu beschäftigen*
ISBN 978-3-8325-4825-4 43.50 EUR
- 271 Franziska Kehne: Analyse des Transfers von kontextualisiert erworbenem Wissen im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4846-9 45.00 EUR
- 272 Markus Elsholz: Das akademische Selbstkonzept angehender Physiklehrkräfte als Teil ihrer professionellen Identität. *Dimensionalität und Veränderung während einer zentralen Praxisphase*
ISBN 978-3-8325-4857-5 37.50 EUR
- 273 Joachim Müller: Studienerfolg in der Physik. *Zusammenhang zwischen Modellierungskompetenz und Studienerfolg*
ISBN 978-3-8325-4859-9 35.00 EUR
- 274 Jennifer Dörschelln: Organische Leuchtdioden. *Implementation eines innovativen Themas in den Chemieunterricht*
ISBN 978-3-8325-4865-0 59.00 EUR
- 275 Stephanie Strelow: Beliefs von Studienanfängern des Kombi-Bachelors Physik über die Natur der Naturwissenschaften
ISBN 978-3-8325-4881-0 40.50 EUR
- 276 Dennis Jaeger: Kognitive Belastung und aufgabenspezifische sowie personenspezifische Einflussfaktoren beim Lösen von Physikaufgaben
ISBN 978-3-8325-4928-2 50.50 EUR
- 277 Vanessa Fischer: Der Einfluss von Interesse und Motivation auf die Messung von Fach- und Bewertungskompetenz im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4933-6 39.00 EUR
- 278 René Dohrmann: Professionsbezogene Wirkungen einer Lehr-Lern-Labor-Veranstaltung. *Eine multimethodische Studie zu den professionsbezogenen Wirkungen einer Lehr-Lern-Labor-Blockveranstaltung auf Studierende der Bachelorstudiengänge Lehramt Physik und Grundschulpädagogik (Sachunterricht)*
ISBN 978-3-8325-4958-9 40.00 EUR
- 279 Meike Bergs: Can We Make Them Use These Strategies? *Fostering Inquiry-Based Science Learning Skills with Physical and Virtual Experimentation Environments*
ISBN 978-3-8325-4962-6 39.50 EUR
- 280 Marie-Therese Hauerstein: Untersuchung zur Effektivität von Strukturierung und Binnendifferenzierung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Evaluation der Strukturierungshilfe Lernleiter*
ISBN 978-3-8325-4982-4 42.50 EUR

- 281 Verena Zucker: Erkennen und Beschreiben von formativem Assessment im naturwissenschaftlichen Grundschulunterricht. *Entwicklung eines Instruments zur Erfassung von Teilfähigkeiten der professionellen Wahrnehmung von Lehramtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-4991-6 38.00 EUR
- 282 Victoria Telser: Erfassung und Förderung experimenteller Kompetenz von Lehrkräften im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4996-1 50.50 EUR
- 283 Kristine Tschirschky: Entwicklung und Evaluation eines gedächtnisorientierten Aufgabendesigns für Physikaufgaben
ISBN 978-3-8325-5002-8 42.50 EUR
- 284 Thomas Elert: Course Success in the Undergraduate General Chemistry Lab
ISBN 978-3-8325-5004-2 41.50 EUR
- 285 Britta Kalthoff: Explizit oder implizit? *Untersuchung der Lernwirksamkeit verschiedener fachmethodischer Instruktionen im Hinblick auf fachmethodische und fachinhaltliche Fähigkeiten von Sachunterrichtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-5013-4 37.50 EUR
- 286 Thomas Dickmann: Visuelles Modellverständnis und Studienerfolg in der Chemie. *Zwei Seiten einer Medaille*
ISBN 978-3-8325-5016-5 44.00 EUR
- 287 Markus Sebastian Feser: Physiklehrkräfte korrigieren Schülertexte. *Eine Explorationsstudie zur fachlich-konzeptuellen und sprachlichen Leistungsfeststellung und -beurteilung im Physikunterricht*
ISBN 978-3-8325-5020-2 49.00 EUR
- 288 Matylda Dudzinska: Lernen mit Beispielaufgaben und Feedback im Physikunterricht der Sekundarstufe 1. *Energieerhaltung zur Lösung von Aufgaben nutzen*
ISBN 978-3-8325-5025-7 47.00 EUR
- 289 Ines Sonnenschein: Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsprozesse Studierender im Labor
ISBN 978-3-8325-5033-2 52.00 EUR
- 290 Florian Simon: Der Einfluss von Betreuung und Betreuenden auf die Wirksamkeit von Schülerlaborbesuchen. *Eine Zusammenhangsanalyse von Betreuungsqualität, Betreuermerkmalen und Schülerlaborzielen sowie Replikationsstudie zur Wirksamkeit von Schülerlaborbesuchen*
ISBN 978-3-8325-5036-3 49.50 EUR
- 291 Marie-Annette Geyer: Physikalisch-mathematische Darstellungswechsel funktionaler Zusammenhänge. *Das Vorgehen von SchülerInnen der Sekundarstufe 1 und ihre Schwierigkeiten*
ISBN 978-3-8325-5047-9 46.50 EUR
- 292 Susanne Digel: Messung von Modellierungskompetenz in Physik. *Theoretische Herleitung und empirische Prüfung eines Kompetenzmodells physikspezifischer Modellierungskompetenz*
ISBN 978-3-8325-5055-4 41.00 EUR

- 293 Sönke Janssen: Angebots-Nutzungs-Prozesse eines Schülerlabors analysieren und gestalten. *Ein design-based research Projekt*
ISBN 978-3-8325-5065-3 57.50 EUR
- 294 Knut Wille: Der Productive Failure Ansatz als Beitrag zur Weiterentwicklung der 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

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 Hans Niedderer, Helmut Fischler 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 in Deutschland.

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:

Prof. Dr. Hans Niedderer
Institut für Didaktik der Naturwissenschaften,
Abt. Physikdidaktik, FB Physik/Elektrotechnik,
Universität Bremen,
Postfach 33 04 40, 28334 Bremen
Tel. 0421-218 2484/4695, e-mail:
niedderer@physik.uni-bremen.de

Prof. Dr. Helmut Fischler
Didaktik der Physik, FB Physik, Freie Universität Berlin,
Arnimallee 14, 14195 Berlin
Tel. 030-838 56712/55966, e-mail:
fischler@physik.fu-berlin.de

Prof. Dr. Elke Sumfleth
Didaktik der Chemie,
Fachbereich Chemie,
Universität Duisburg-Essen,
Schützenbahn 70, 45127 Essen
Tel. 0201-183 3757/3761, e-mail:
elke.sumfleth@uni-essen.de

In fachdidaktischen Interventionsstudien wird Unterricht auf Basis neu entwickelter Unterrichtskonzepte öfter mit „traditionellem Unterricht“ verglichen. Eine vertiefte Auseinandersetzung mit „traditionellem Unterricht“ bei Interventionsstudien ermöglicht einen differenzierteren Blick auf deren Ergebnisse, aber auch ein tieferes Verständnis von Akzeptanzhürden, die bei der Umsetzung neuer Unterrichtskonzepte auftreten können.

In dieser Studie wurde daher der Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht von 32 Lehrkräften in Bayern, Hessen und Österreich beleuchtet: Einerseits wurden Elemente der individuell umgesetzten Sachstruktur der Lehrkräfte mithilfe von Logbüchern und Schülerheften rekonstruiert. Andererseits wurde der Zusammenhang zwischen ausgewählten Lehrkräfte- und Schülervariablen untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass sich für die Auswahl und Abfolge von Fachinhalten und den Einsatz von Analogiemodellen einige Muster identifizieren lassen, denen ein Großteil der Lehrkräfte folgte. Im Zuge von Mehrebenenanalysen konnten die erhobenen Aspekte des Professionswissens der Lehrkräfte in einer Betrachtung des Gesamtsamples der SchülerInnen nicht als Prädiktor für fachlichen Lernerfolg identifiziert werden, jedoch für das Sub-Sample der Lehrkräfte mit weniger als zehn Dienstjahren. Für die Entwicklung des Fachinteresses und des physikbezogenen Selbstkonzepts der SchülerInnen stellten sich die epistemologischen Vorstellungen und die Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkräfte im Umgang mit Schülervorstellungen als Prädiktoren heraus.

Logos Verlag Berlin

ISBN 978-3-8325-5159-9