

Laura Pannullo

**Wahlmöglichkeiten beim
Experimentieren:
Entwicklung und Erprobung eines
Konzeptes für Experimente in inklusiven
Lerngruppen im Physikunterricht**

Studien zum Physik- und Chemielernen

Herausgegeben von Martin Hopf und Mathias Ropohl

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

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

Martin Hopf und Mathias Ropohl

Studien zum Physik- und Chemielernen

Band 386

Laura Pannullo

**Wahlmöglichkeiten beim Experimentieren:
Entwicklung und Erprobung eines
Konzeptes für Experimente in inklusiven
Lerngruppen im Physikunterricht**

Logos Verlag Berlin



Studien zum Physik- und Chemielernen

Martin Hopf und Mathias Ropohl [Hrsg.]

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons Lizenz CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>). Die Bedingungen der Creative Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen (gekennzeichnet mit Quellenangabe) wie z. B. Schaubilder, Abbildungen, Fotos und Textauszüge erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

Die Open-Access-Publikation dieses Buches wurde durch den Open-Access-Publikationsfonds der Goethe-Universität Frankfurt am Main unterstützt.

The open access publication of this book was funded by the Open Access Publication Fund of Goethe University Frankfurt am Main.

Logos Verlag Berlin GmbH 2025

ISBN 978-3-8325-5916-8

ISSN 1614-8967

DOI 10.30819/5916

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>

Wahlmöglichkeiten beim Experimentieren: Entwicklung und Erprobung eines Konzeptes für Experimente in inklusiven Lerngruppen im Physikunterricht

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Naturwissenschaften

vorgelegt beim Fachbereich Physik
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
in Frankfurt am Main

von
Laura Pannullo
aus Erfurt, Deutschland

Frankfurt am Main 2024
D30

vom Fachbereich Physik der
Johann Wolfgang Goethe-Universität als Dissertation angenommen.

Dekan: Prof. Dr. Roger Erb

Gutachter: Prof. Dr. Roger Erb
Prof. Dr. Lisa Stinken-Rösner

Datum der Disputation: 26.07.2024

Zusammenfassung

Das Experimentieren ist ein wichtiger Teil einer naturwissenschaftlichen Grundbildung. Um es gerecht den Anforderungen heterogener Lerngruppen zu gestalten, müssen im Rahmen eines weiten Inklusionsverständnisses Zugänge für alle Lernenden geschaffen werden. Eine unterrichtsübliche Vorgehensweise ist die Bereitstellung differenzierter Materialien und Arbeitsaufträge. Wenn diese nicht ausreichen, können verschiedene Experimentierformen diese individuellen Zugänge schaffen und somit die Passung zwischen Lernendem und Lerngegenstand (Experimentierform) erhöhen. Diese Passung kann entweder durch eine vorherige Diagnose, beispielsweise durch die Lehrkraft, oder durch eine Wahl des Lernenden geschaffen werden. Da Wahlmöglichkeiten im Unterricht bereits positive Effekte auf den Erwerb von Fachwissen und die Verbesserung affektiv-motivationaler Merkmale gezeigt haben, sollen sie auch beim Experimentieren eingesetzt und untersucht werden.

Basierend auf diesen theoretischen Überlegungen wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein Unterrichtskonzept entwickelt, welches Wahlmöglichkeiten beim Experimentieren in Form einer Auswahl aus verschiedenen Experimentierformen anbietet. Es ist dabei anschlussfähig an existierende Frameworks für die Gestaltung eines inklusiven (naturwissenschaftlichen) Unterrichts. Das Konzept bietet eine Auswahl von fünf Experimentierformen zu einem gemeinsamen Kontext an. In der Experimentierphase können die Schüler*innen zwischen den Experimentierformen „Offenes Freihandexperiment“, „Modellbildung“, „Digitalisiertes Experiment“, „Kreatives Gestalten“ und „Angeleitetes Schüler*innenexperiment“ wählen. Um die Auswirkung

von Wahlmöglichkeiten beim Experimentieren zu untersuchen, wurde das (theoretische) Unterrichtskonzept für einen bestimmten Kontext in Form einer exemplarischen Unterrichtseinheit ausgearbeitet und der Einsatz in Klassen auf Schüler*innen- und Lehrkräteebene untersucht. Der Kontext beschäftigt sich mit dem Phänomen, dass Aquakugeln in Wasser unsichtbar erscheinen, da an ihnen weder Reflexion noch Brechung beobachtet wird.

Die Auswirkung von Wahlmöglichkeiten auf Schüler*innenebene wurde im Einzelnen auf den fachlichen Wissenszuwachs, die Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen, das physikalische Selbstkonzept und die Selbstwirksamkeitserwartung sowie die intrinsische Motivation der Schüler*innen untersucht. In einer quasi-experimentellen Feldstudie mit Messwiederholung (Zwei-Gruppen Prä-Post-Design) wurden diese Auswirkungen varianzanalytisch beleuchtet. Die Lehrkräfte wurden zusätzlich über einen Reflexionsbogen befragt.

Um die erarbeitete Unterrichtseinheit und das Studiendesign zu erproben, wurde zunächst eine Pilotstudie mit vier Klassen durchgeführt. Diese ergab, dass die Schüler*innen mit den eingesetzten Testinstrumenten und Materialien keine Schwierigkeiten hatten. Zudem konnten erwartete Effekte der Unterrichtseinheit nachgewiesen werden, wobei jedoch eine starke Abhängigkeit von der durchführenden Lehrkraft zu beobachten war. Daraus ergab sich die Notwendigkeit, detailliertes Begleitmaterial zur Durchführung der Unterrichtseinheiten bereitzustellen, welches in der Hauptstudie zum Einsatz kam.

Die Ergebnisse der Hauptstudie deuten insgesamt darauf hin, dass Experimentierphasen ohne Wahlfreiheit einen positiven Einfluss auf die Entwicklung des Fachwissens und des physikbezogenen Selbstkonzepts haben. Im Gegensatz dazu zeigt sich bei Experimentierphasen mit Wahlfreiheit ein positiver Einfluss auf das Interesse und Vergnügen, was eine Subskala der intrinsischen Motivation darstellt. Auch in den Reflexionen führten die befragten Lehrkräfte das Potenzial von Wahlmöglichkeiten in der Förderung affektiver Merkmale an. Da Schüler*innenexperimente aus Sicht der Physikdidaktik und Lehrkräften auch das Ziel der Motivationsförderung verfolgen, können Wahlmöglichkeiten dieses weiter unterstützen. Somit lassen sich aus den Ergebnissen dieser Studie verschiedene Empfehlungen für die schulische Praxis ableiten, abhängig von der Zielsetzung des jeweiligen Unterrichts.

Für Laurin

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	iii
Akronyme	xiii
1 Einleitung	1
2 Theoretische Grundlagen	5
2.1 Inklusiver Physikunterricht	6
2.1.1 Inklusionsbegriff	7
2.1.2 Rahmenkonzepte für inklusiven (naturwissenschaftli- chen) Unterricht	7
2.2 Schüler*innenexperimente	12
2.2.1 Definitionen und Klassifikation	13
2.2.2 Funktionen und Ziele	15
2.2.3 Sichtweise von Lehrkräften auf Schüler*innenexperimente	17
2.2.4 Effekte von Schüler*innenexperimenten	19
2.3 Motivation und Interesse	20
2.3.1 Motivation	21
2.3.2 Selbstbestimmungstheorie	23
2.3.3 Interesse	24
2.3.4 Selbstkonzept und Selbstwirksamkeitserwartung	25
2.4 Wahlfreiheit im Unterricht	27
2.4.1 Bedingungen der Wahl	31
2.4.2 Choice Overload	32

2.5	Zusammenhang der Konstrukte	32
3	Fachliche Grundlagen	35
3.1	Reflexion und Brechung von Licht in der geometrischen Optik	35
3.2	Sichtbarkeit von transparenten Objekten	37
4	Konzeption des Treatments	41
4.1	Entwicklung des Unterrichtskonzepts	42
4.1.1	Kontextorientierung	42
4.1.2	Wahlfreiheit	43
4.1.3	Verschiedene Experimentierformen	44
4.1.4	Konzept	45
4.2	Gewählter Kontext	47
4.3	Entwicklung der Experimente	48
4.3.1	Offenes Freihandexperiment	48
4.3.2	Modellbildung	50
4.3.3	Digitalisiertes Experiment	52
4.3.4	Kreatives Gestalten	57
4.3.5	Angeleitetes Schüler*innenexperiment	58
4.4	Unterrichtseinheit	59
4.5	Material	60
5	Design und Methodik	63
5.1	Forschungsfragen und Hypothesen	64
5.2	Studiendesign	70
5.2.1	Darstellung der Untersuchungsgruppen	72
5.2.2	Materialien	73
5.2.3	Ablauf der Erhebung	73
5.3	Datenauswertung	75
5.3.1	t -Test	76
5.3.2	Einfaktorielle Varianzanalyse ohne Messwiederholung .	78
5.3.3	Zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung .	78
5.3.4	Kovarianzanalyse	80
5.4	Stichprobe	80
5.4.1	Schulform und Klassenstufen	80
5.4.2	Kognitive Fähigkeiten	81

5.4.3	Kategorisierung in Stadt und Land	82
5.4.4	Fortbildung	83
6	Testinstrumente	85
6.1	Testinstrumente zur Evaluation des Unterrichtskonzeptes . . .	86
6.1.1	Fachwissenstest zur Lichtbrechung	86
6.1.2	Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen	87
6.1.3	Physikbezogenes Selbstkonzept	88
6.1.4	Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren . .	88
6.1.5	Kurzskala intrinsische Motivation	88
6.1.6	Wahrgenommene Wahlfreiheit	89
6.1.7	Kognitiver Fähigkeitstest	90
6.1.8	Integration von Schüler*innen	92
6.2	Reflexionsbogen	92
7	Pilotierung	95
7.1	Stichprobe und Durchführung	96
7.2	Datenauswertung	98
7.3	Ergebnisse der Pilotierung	98
7.3.1	Prüfung der Voraussetzungen	98
7.3.2	Ergebnisse insgesamt	99
7.3.3	Ergebnisse nach Lehrkraft	101
7.3.4	Einflüsse der Anzahl und Art der bearbeiteten Experimente	109
7.3.5	Ergebnisse aus den Interviews und Lehrkräftebefragungen	115
7.4	Konsequenzen für die Hauptstudie	115
8	Ergebnisse der Hauptuntersuchung	119
8.1	Reliabilitätsanalyse	119
8.1.1	Interne Konsistenz	120
8.1.2	Itemtrennschärfe	121
8.2	Prüfung der Voraussetzungen	122
8.2.1	Intervallskalierung	122
8.2.2	Normalverteilung	123
8.2.3	Homogenität und Sphärizität	123

8.2.4	Unabhängigkeit	124
8.2.5	Balanciertheit des Designs	124
8.2.6	Ausreißer	125
8.3	Umgang mit fehlenden Werten	125
8.4	Umgang mit Störvariablen	125
8.5	Randomisierung	126
8.6	Ergebnisse der Schüler*innenfragebögen	126
8.6.1	Auswertemethodik	127
8.6.2	Ergebnisse insgesamt	128
8.6.3	Ergebnisse nach Skala	130
8.6.4	Zusammenhänge zwischen den Variablen	143
8.7	Reflexionen der Lehrkräfte	147
8.8	Blick in die ausgefüllten Arbeitsblätter	153
8.8.1	Offenes Freihandexperiment	153
8.8.2	Modellbildung	154
8.8.3	Digitalisiertes Experiment	154
8.8.4	Kreatives Gestalten	155
8.8.5	Angeleitetes Schüler*innenexperiment	155
9	Diskussion und Schlussbetrachtungen	157
9.1	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	158
9.1.1	Pilotierung	158
9.1.2	Hauptstudie	158
9.1.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	164
9.2	Beantwortung der Forschungsfragen	164
9.3	Limitationen der Studie	167
9.3.1	Follow-up	167
9.3.2	Auswahl der Stichprobe	167
9.3.3	Weitere Einflüsse	167
9.3.4	Hierarchische Datenstruktur	169
9.4	Fazit und Ausblick	170
9.4.1	Fazit	170
9.4.2	Ausblick: Passung schaffen durch andere Ansätze	171
	Literatur	173

Abbildungsverzeichnis	201
Tabellenverzeichnis	205
Anhang	211
A Zusätzliche Ergebnisse	211
A.1 Zusätzliche Ergebnisgraphen und -tabellen	211
A.2 Aussagen der Lehrkräfte in den Reflexionsbögen	225
A.2.1 Sicherheit	225
A.2.2 Affektive Merkmale	226
A.2.3 Experimentierkompetenz	229
A.2.4 Fachwissen	231
A.2.5 Überfachliche Kompetenzen	233
A.2.6 Inklusionsaspekte	235
A.2.7 Differenzierung	236
A.2.8 Unterrichtsqualität	237
B Fragebögen	241
B.1 Schüler*innenfragebogen	241
B.1.1 Aufgaben des Fachwissenstests	241
B.1.2 Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen	245
B.1.3 Physikbezogenes Selbstkonzept	246
B.1.4 Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren	246
B.1.5 Kurzsкала intrinsische Motivation	247
B.1.6 Wahrgenommene Wahlfreiheit	248
B.2 Lehrkräftefragebögen	248
B.2.1 Reflexionsbogen	248
C Begleitmaterial	253
C.1 Begleitmaterial für die Lehrkräfte	253
C.1.1 Begleitmaterial der Interventionsgruppe	253
C.1.2 Begleitmaterial der Vergleichsgruppe	263
C.2 Begleitmaterial für die Schüler*innen	271
C.2.1 Experimentieranleitungen	271
C.2.2 Arbeitsblätter	281

Akronyme

ANCOVA Kovarianzanalyse. 78, 122, 129, 130, 164, 203

ANOVA Varianzanalyse. 73, 76–78, 100, 105, 107, 118–120, 122, 124–127, 130, 138, 164, 201, 202, 205, 207

AU Autonomieunterstützung. 85, 143, 209

FW Fachwissen. 71, 84, 96, 97, 100, 107, 111, 122, 140, 143, 153, 163, 164, 209

IGS integrierte Gesamtschule. 78

IMI Intrinsic Motivation Inventory. 86–88, 158, 201

INT Interventionsgruppe. 70, 75, 79, 130, 137, 158

Int. Integration. 89, 153

KFT kognitiver Fähigkeitstest. 78, 79, 88, 122, 129, 140, 163, 197, 205, 207, 209

KIM Kurzskala intrinsische Motivation. 71, 86, 87, 96, 97, 99, 100, 105, 107, 111, 116, 118, 139, 153, 158, 163, 204, 205, 207, 209

LLB Lehr- und Lernbedingungen. 71, 85, 96, 97, 99–101, 105, 107, 109, 111, 122, 133, 138, 153, 161, 163, 164, 207, 209

N2 Figurenalogien. 79, 88, 122, 129, 140, 163, 197, 207, 209

SK Selbstkonzept. 25, 71, 85, 86, 96, 97, 100, 107, 111, 122, 142, 143, 153, 161, 163, 209

SWE Selbstwirksamkeitserwartung. 26, 71, 86, 96, 97, 100, 107, 111, 122, 142, 143, 153, 161, 163, 209

UDL Universal Design for Learning. 7, 8, 16

V3 Wortanalogien. 79, 88, 122, 129, 140, 163, 197, 207, 209

VGL Vergleichsgruppe. 70, 75, 79, 130, 137, 158

WW wahrgenommene Wahlfreiheit. 71, 84, 163, 209

Kapitel 1

Einleitung

Physik trägt zum Verstehen der Welt bei (KMK, 2020). Ein inklusiver Physikunterricht hat das Ziel, allen Lernenden eine physikalische Grundbildung zu ermöglichen, um dieses Verständnis zu verbessern. MENTHE et al. (2017) definieren die Ziele eines solchen Unterrichts wie folgt:

„Naturwissenschaftlicher Unterricht trägt zu gelungener Inklusion bei, indem er allen Lernenden – unter Wertschätzung ihrer Diversität und ihrer jeweiligen Lernvoraussetzungen – die Partizipation an individualisierten und gemeinschaftlichen fachspezifischen Lehr-Lern-Prozessen zur Entwicklung einer naturwissenschaftlichen Grundbildung ermöglicht.“

Experimentieren ist als Teil der naturwissenschaftlichen Praxis (ERB, 2014) Element einer physikalischen Grundbildung. Insbesondere Schüler*innenexperimente bieten Individualisierungs- und Differenzierungsmöglichkeiten (GIRWIDZ, 2020). Um solche individualisierten Lernprozesse zu ermöglichen, müssen verschiedene Zugänge geschaffen werden. Die reine Bereitstellung unterschiedlicher Arbeitsmaterialien oder differenzierender Arbeitsaufträge greift jedoch dabei zu kurz (VAN VORST, 2018), weswegen verschiedene Experimentierformen stärker differenzierte Zugänge mit höherer individueller Passung schaffen können. Während verschiedene Studien die Auswirkung unterschiedlicher Experimentierformen u.a. auf den Fachwissenszuwachs und die Motivation von Lernenden untersuchten, kamen diese zu keinen

eindeutigen Empfehlungen für (oder gegen) bestimmte Experimentierformen (siehe dazu zum Beispiel STOLZ (2018) und WINKELMANN (2015)). Daher stellt sich möglicherweise nicht die Frage, welche Experimentierform am besten geeignet ist, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen, sondern ob die Experimentierform zu den individuellen Voraussetzungen der Lernenden passt. Da Schüler*innen mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen oftmals nicht vergleichbar gut von demselben Lernangebot profitieren können (FRIESEN et al., 2021), sollte insbesondere in inklusiven Settings der Unterricht nicht mehr auf Basis einer fiktiven Homogenität der Lerngruppe geplant werden. Die Gestaltung adaptiven Unterrichts stellt jedoch eine große Herausforderung dar, da nur mit langjähriger Erfahrung oder vorangegangener Diagnose der richtige Zugang für die Lernenden bestimmt werden kann (FÜHNER & PUSCH, 2022). Eine praktikable Alternative, auf individuelle Bedarfe der Schüler*innen einzugehen, besteht darin, diese durch Wahlmöglichkeiten als entscheidungstragende Akteur*innen in ihrem eigenen Lernprozess teilhaben zu lassen. So werden bereits Wahlmöglichkeiten in der Unterrichtspraxis als eine Möglichkeit der Differenzierung im Umgang mit Heterogenität eingesetzt (JOST, 2017; ZACHER, 2020). Dabei stellt der Einsatz von Wahlmöglichkeiten eine Form der Individualisierung des Unterrichts dar, da auf diese Weise Schüler*innen wählen können, welche Inhalte oder Methoden ihren aktuellen Interessen oder Handlungswünschen entsprechen (HOFFERBER & WILDE, 2018).

Nach der Selbstbestimmungstheorie fördert das Angebot von Wahlmöglichkeiten die Autonomie im Unterricht (RYAN & DECI, 2006). Durch Wahlmöglichkeiten wird Lernen individueller und selbstgesteuerter, da diese bei Schüler*innen ein Gefühl von Eigenverantwortung („ownership“) erzeugen (SCHRAW et al., 2001). Die Literatur zeigt, dass das Erleben von Autonomie relevant für Bildungsprozesse ist, insbesondere für den Erwerb von Fachwissen und der Förderung von affektiven Merkmalen wie Motivation, Selbstkonzept und Selbstwirksamkeit. Diese sind von zentraler Bedeutung für den Erwerb einer naturwissenschaftlichen Grundbildung (MÖLLER & TRAUTWEIN, 2020; SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020). Entsprechend werden Wahlmöglichkeiten von Lehrkräften eingesetzt, um beispielsweise Motivation zu fördern (FLOWERDAY & SCHRAW, 2000).

Die Auswirkung von Wahlmöglichkeiten auf verschiedene Schüler*innenmerkmale wurde bereits in verschiedenen Studien untersucht (WILDE et al., 2018; ZACHER, 2020), jedoch nicht im Kontext des Physikunterrichts oder des Experimentierens. Des Weiteren wurde bisher der Fokus auf die Wahl von Inhalten und nicht auf die Wahl des Zuganges zu einem Thema gelegt. Um diese bestehende Forschungslücke zu adressieren, untersucht die vorliegende Arbeit den Einsatz von Wahlmöglichkeiten beim Experimentieren im Physikunterricht mit dem Ziel, eine inklusive Lernumgebung zu schaffen. Wahlmöglichkeit wird hierbei nicht zwischen verschiedenen Themen, sondern zwischen Experimentierformen – also verschiedenen Zugängen zum Thema – angeboten. Dabei wird die Auswirkung dieser Wahlmöglichkeiten auf den Fachwissenszuwachs, die Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen, das physikalische Selbstkonzept und die Selbstwirksamkeitserwartung sowie die Motivation der Schüler*innen beleuchtet. Hierfür wurde als Treatment ein eigens entwickeltes Unterrichtskonzept mit einer Wahl aus fünf Experimentierformen zu einem beispielhaften Kontext aus der geometrischen Optik ausgestaltet. Dieses wird in einer Interventionsstudie mit einer Kontrollgruppe verglichen, der zwei dieser fünf Experimentierformen vorgegeben werden. Die Auswirkung von Wahlfreiheit wird in dieser Studie klassisch varianzanalytisch ausgewertet.

Struktur dieser Arbeit

In Kapitel 2 werden Rahmenkonzepte eines inklusiven Physikunterrichts vor dem Hintergrund seiner Geschichte sowie des der Arbeit zugrunde liegenden Inklusionsbegriffes geschildert und die Bedeutung von Schüler*innenexperimenten für den Physikunterricht aufgezeigt. Dies wird durch eine Übersicht über die empirische Forschungslage zu Funktionen (aus der Perspektive von Didaktiker*innen und Lehrkräften) und Effekten von Schüler*innenexperimenten gestützt. Zudem werden grundlegende psychologische Konstrukte wie Motivation und Selbstwirksamkeitserwartung erläutert, sowie die Wirkung von Wahlfreiheit auf diese Konstrukte dargestellt.

Der fachliche Kontext der Interventionsstudie wird in Kapitel 3 physikalisch analysiert, welches als Vorbereitung der Darstellung des Konzeptes und der Unterrichtseinheiten in Kapitel 4 dient. Dabei wird im Detail auf die Experimentierformen und eingesetzten Experimente eingegangen. In Kapitel 5

werden die Forschungsfragen und Hypothesen aus dem Forschungsstand abgeleitet. Basierend darauf wird das Studiendesign motiviert und die Auswertemethodik dargestellt. Die hierbei eingesetzten Testinstrumente werden im Detail in Kapitel 6 beschrieben.

Vor der Hauptuntersuchung wurde das Unterrichtskonzept in einer Pilotstudie erprobt. Deren Design, Ergebnisse sowie Schlussfolgerungen für die Hauptstudie werden in Kapitel 7 diskutiert. In Kapitel 8 werden die Ergebnisse der Hauptstudie präsentiert. Dabei wird insbesondere der Fokus auf die Auswirkung von Wahlfreiheit auf Schüler*innenvariablen, deren Zusammenhänge untereinander, sowie die Ergebnisse der begleitenden Lehrkräftebefragung gelegt. Abschließend werden diese Ergebnisse vor dem Hintergrund der bisherigen Literatur in Kapitel 9 diskutiert und damit die Forschungsfragen beantwortet. Abschließend wird ein Fazit gezogen und ein Ausblick für weitere mögliche Studien geboten.

Kapitel 2

Theoretische Grundlagen

Dieses Kapitel enthält Abschnitte, die der Argumentation bereits publizierter Beiträge folgen, vergleiche dazu SÜHRIG et al. (2020, 2021a, 2021b, 2021c, 2023a, 2023b).

Um Schüler*innenexperimente für den Einsatz in heterogenen Lerngruppen dahingehend zu verbessern, dass ein Zugang für alle Lernenden möglich wird, wird im Zuge dieser Arbeit die Implementation eines Wahlangebotes aus verschiedenen Experimentierformen in Experimentierphasen untersucht. Wahlmöglichkeiten sollen im inklusiven Kontext im Sinne eines „Empowerments“ (GROSCHKE & VOCK, 2018) insbesondere einen positiven Effekt auf motivational-affektive Schüler*innenmerkmale zeigen. In diesem Kapitel werden die Entwicklung des inklusiven (Physik-)Unterrichtes der letzten Jahrzehnte aufgezeigt, der Inklusionsbegriff, der dieser Arbeit zugrunde liegt, erklärt und vorhandene Rahmenkonzepte für die Gestaltung eines inklusiven (naturwissenschaftlichen) Unterrichts sowie Aspekte, die für die vorliegende Arbeit daraus abgeleitet wurden, vorgestellt. Im Anschluss werden Schüler*innenexperimente und damit verbundene Unterrichtsziele aus physikdidaktischer Perspektive erläutert sowie die Sichtweise von Lehrkräften auf diese dargestellt. Der dritte Teil des Kapitels setzt sich abschließend mit Motivation und Interesse im Kontext von Wahlfreiheit auseinander.

2.1 Inklusiver Physikunterricht

Schulische Inklusion hat in den letzten Jahrzehnten immer mehr an Bedeutung gewonnen, doch ihre Wurzeln reichen weiter zurück.

Ende der 1970er Jahre begann die Debatte um die Integration von Schüler*innen mit Behinderungen in Regelschulen und die Abkehr von Sondereinrichtungen bzw. Sonderschulen (EDER-GREGOR & SPETA, 2018). Die Diskussion führte in den 1980er Jahren zu ersten integrativen Schulversuchen mit dem gemeinsamen Unterricht von Schüler*innen mit und ohne Behinderung. Im Jahr 1994 wurde in der Salamanca-Erklärung der UNESCO vereinbart, dass Schulen *alle* Kinder unabhängig ihrer Voraussetzungen aufnehmen sollen (SCHNELL, 2009).

Dennoch stellte erst die Ratifizierung der UN-Behindertenrechtskonvention 2009 (BEAUFTRAGTER DER BUNDESREGIERUNG FÜR DIE BELANGE VON MENSCHEN MIT BEHINDERUNGEN, 2023) einen entscheidenden Wendepunkt dar. Durch sie wurde der strukturelle Umbau des deutschen Schulsystems in Richtung einer inklusiven Beschulung vorangetrieben (SCHUCK, 2014), da die Vertragsstaaten sich verpflichtet haben, ein integratives Bildungssystem für alle zu gewährleisten. Dies bedeutete die rechtliche Verankerung der gemeinsamen Beschulung von Kindern mit und ohne sonderpädagogischen Förderbedarf an Regelschulen, einschließlich des Fachunterrichts wie Physik.

Seitdem hat sich die inklusive Beschulung in Deutschland stetig weiterentwickelt. So steigen seit 2009 die Inklusionsanteile an deutschen Schulen (BERTELSMANN STIFTUNG, 2015). Jedoch vollziehen die Bundesländer dabei eigene Wege und es gibt nach wie vor Unterschiede in den Inklusionsquoten (ebd.). Die Umsetzung schulischer Inklusion stellt dabei eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe dar (GROSCHKE & VOCK, 2018) und steht im Mittelpunkt vieler bildungspolitischer Bemühungen.

Nachdem inklusiver Physik- und Chemieunterricht in der Fachdidaktik und Förderpädagogik lange vernachlässigt wurde (BOLTE & BEHRENS, 2004), ist Inklusion in den letzten Jahren speziell im naturwissenschaftlichen Bereich in den Fokus gerückt, u.a. durch Forschungsförderlinien des Bundesmini-

steriums für Bildung und Forschung.¹ Zu den Bestrebungen, naturwissenschaftlichen Unterricht so zu gestalten, dass alle Schüler*innen unabhängig ihrer Voraussetzungen einen Zugang erhalten, gehören didaktische und methodische Überlegungen und Konzepte (siehe Abschnitt 2.1.2), der Einsatz assistiver Technologien (u.a. LAUBMEISTER und WECK (2022)) und Lehrkräftefortbildungen.

2.1.1 Inklusionsbegriff

In der Literatur existiert bisher kein einheitlicher Inklusionsbegriff (PIEZUNKA et al., 2017). Jedoch zeichnet sich in der Debatte um den Inklusionsbegriff ein „enges“ oder „weites“ Begriffsverständnis ab. Nach GROSCHE und VOCK (2018) richtet sich entsprechend einem engen Verständnis Inklusion an Schüler*innen mit sonderpädagogischen Förderbedarfen. Ein weiterer Inklusionsbegriff hingegen fokussiert alle Schüler*innen und versucht sie in ihren Heterogenitätsdimensionen wahrzunehmen. Diese beinhalten u.a. Geschlecht, sozioökonomischer Status, Behinderung und Begabung (SACH & HEINICKE, 2019).

In dieser Arbeit stehen nicht „nur“ Schüler*innen mit sonderpädagogischem Förderbedarf im Fokus. Vielmehr wird sich durch die Implementation von Wahlfreiheit ein Zugang für *alle* Lernende am Experimentieren erhofft. Daher liegt dieser Arbeit ein weites Inklusionsverständnis zugrunde.

2.1.2 Rahmenkonzepte für inklusiven (naturwissenschaftlichen) Unterricht

Die Grundidee der meisten inklusiven Unterrichtsansätze ist, eine bessere Passung zwischen Lerngegenstand und Lernendem zu erreichen. Im Folgenden werden drei etablierte Konzepte für die Gestaltung eines inklusiven (naturwissenschaftlichen) Unterrichts kurz umrissen sowie Schlüsse daraus für die vorliegende Arbeit gezogen.

Universal Design for Learning

Das Universal Design for Learning (UDL) ist ein etabliertes Framework zur Planung inklusiven Unterrichts und damit nach NELSON (2014) ein Ansatz,

¹ Die vorliegende Arbeit ist ebenfalls im Rahmen eines Projektes der gemeinsamen „Qualitätssoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern, welches aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert wurde, entstanden.

der Lernumgebungen und Unterricht barrierefrei gestalten möchte, sodass ein Zugang für alle Schüler*innen gewährleistet wird. UDL wurde von CAST entwickelt, einer 1984 gegründeten gemeinnützigen Organisation zur Bildungsforschung und -entwicklung. Diese konzentrierte sich zunächst darauf, mithilfe digitaler Technologien Schüler*innen mit Lernbeeinträchtigungen dabei zu unterstützen, ihre Barrieren zu überwinden. In den 1990er Jahren verlagerte die Organisation ihren Ansatz auf die Barrieren, die Schule und Unterricht (und damit Lernzielen, Leistungsprüfungen, Methoden und Materialien) innewohnen, anstatt der Schwierigkeiten Lernender und prägten den Begriff des „Universal Designs for Learning“ (MEYER et al., 2014).

UDL besteht aus folgenden Kernprinzipien (MEYER et al., 2014, S. 7):

- Provide Multiple Means of Engagement,
- Provide Multiple Means of Representation,
- Provide Multiple Means of Action & Expression.

Diese drei Kernprinzipien werden durch neun Richtlinien ergänzt, die empirisch fundierte Implementationshinweise für die jeweilige Richtlinie enthalten.

Das erste Prinzip besagt, dass die Lehrkraft verschiedene Optionen zur Förderung von Selbstregulation, Anstrengung und Ausdauer, sowie Interesse bereitstellen soll. Das zweite Prinzip zielt auf die Bereitstellung unterschiedlicher Repräsentationsmittel für Information ab. Dazu gehören Wahlmöglichkeiten für das Verständnis (wie zum Beispiel das Hervorheben wichtiger Informationen), für Sprache und Symbole und bei der Perzeption. Beim dritten Prinzip sollen multiple Mittel für die „Verarbeitung von Informationen und die Darstellung von Lernergebnissen“ (SCHLÜTER et al., 2016) bereit gestellt werden. Dazu gehören Optionen für exekutive Funktionen², für Ausdruck und Kommunikation und für motorische Handlungen (MEYER et al., 2014).

Ein Grundgedanke des UDL ist das Angebot von Wahlmöglichkeiten, um Flexibilität im Lernen und im Unterricht zu ermöglichen. In Bezug auf Experimentieren kann daher die Bereitstellung verschiedener Repräsentationsformen auch das Angebot unterschiedlicher Experimentierformen besagen.

² Exekutive Funktionen sind Funktionen, mit denen kognitive Verarbeitung und Verhalten gesteuert wird (DORSCH & WIRTZ, 2020).

NinU-Schema

Das NinU-Schema wurde im Rahmen des „Netzwerks inklusiver naturwissenschaftlicher Unterricht (NinU)“, ein 2016 gegründetes deutschlandweites Netzwerk aus Fachdidaktiker*innen und Sonderpädagog*innen, entwickelt.

Dieses verbindet die fachdidaktischen Ziele eines naturwissenschaftlichen Unterrichts angelehnt an HODSON (2014) mit der Perspektive der inklusiven Pädagogik in einem zweiachsigem Schema (STINKEN-RÖSNER et al., 2020). Das Schema ist in Abb. 2.1 dargestellt.

Es werden dabei auf der horizontalen Achse vier Dimensionen der Naturwissenschaftsdidaktik unterschieden: „sich mit naturwissenschaftlichen Kontexten auseinandersetzen“, „naturwissenschaftliche Inhalte lernen“, „naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung betreiben“ und „über Naturwissenschaften lernen“ (FERREIRA GONZALES et al., 2021).

Auf der vertikalen Achse sind drei Stufen der inklusiven Pädagogik aufgetragen: „Diversität anerkennen“, „Barrieren erkennen“ und „Partizipation ermöglichen“ (ebd.), die nacheinander für jede naturwissenschaftsdidaktische Dimension betrachtet werden können. Die Kombination der inklusionspädagogischen und naturwissenschaftsdidaktischen Ziele ergibt im Schema Knotenpunkte, welche mit Leitfragen hinterlegt sind (ebd.). Diese Fragen sollen die Planung und Reflexion eines inklusiven naturwissenschaftlichen Unterrichts unterstützen. Ziel ist es, eine naturwissenschaftliche Grundbildung für alle zu erreichen.

Eine dieser Leitfragen, die aus dem Knotenpunkt aus „naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung betreiben“ und „Partizipation ermöglichen“ hervorgeht, ist für die vorliegende Arbeit besonders relevant: „Wie kann das Betreiben von naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung für alle Lernenden zugänglich gemacht werden?“ (FERREIRA GONZALES et al., 2021). In diesem Kontext werden unterschiedliche Zugänge vorgeschlagen. In Bezug auf Schüler*innenexperimente können diese unterschiedlichen Zugänge durch eine Differenzierung der Materialien und Methoden erfolgen, z.B. durch die Bereitstellung verschiedener Experimentierformen.

Differenzierungsmatrizen

Das Ziel jeder Differenzierungsstrategie ist das Erreichen von Adaptivität; das heißt eine bessere Passung zwischen Lernangebot und Lernvoraussetzun-

Inklusive Pädagogik

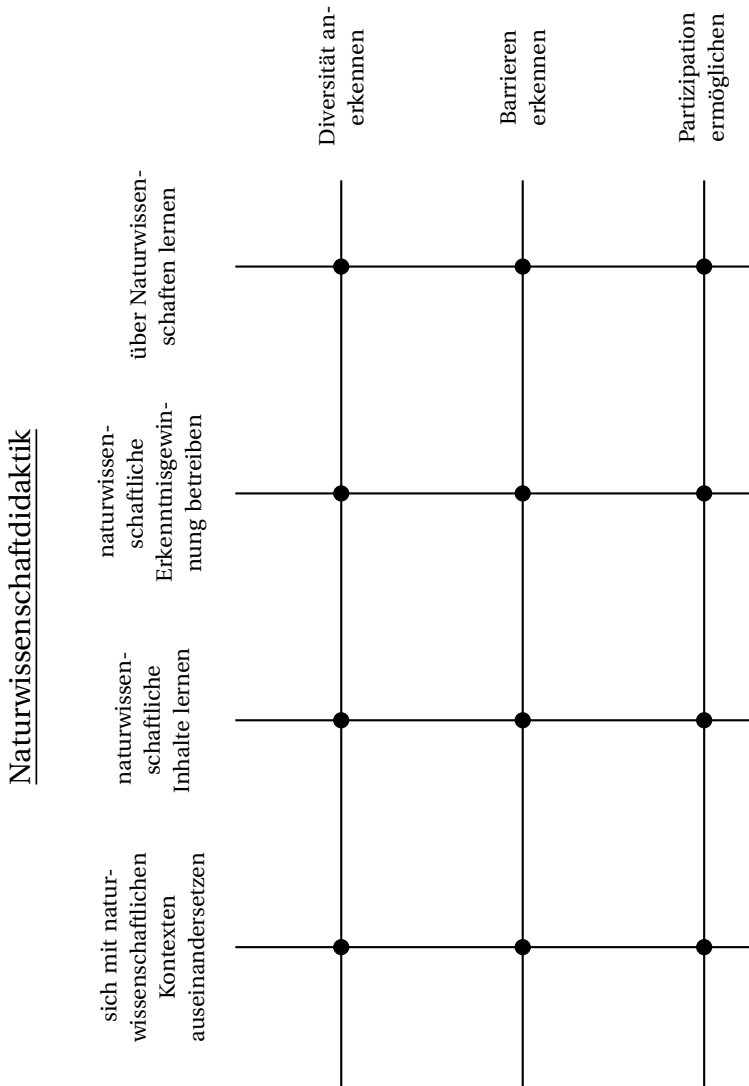


Abbildung 2.1: Darstellung des NinU-Schemas nach STINKEN-RÖSNER et al. (2023).

gen sowie -bedarfen zu schaffen (LOIBL & LEUDERS, 2021). Damit wird die Individualität der Schüler*innen anerkannt und durch Differenzierungen das Lernen unterstützt (WODZINSKI, 2022a).

Eine Planungshilfe für die Differenzierung eines Lerninhaltes stellt die Differenzierungsmatrix bzw. das Lernstrukturgitter dar, welches im inklusiven naturwissenschaftlichen Unterricht eingesetzt wird (ESSER & AUSTERMANN, 2021). Lernstrukturgitter gehen auf KUTZER (1982) zurück und zielen auf die Unterstützung von Lehrkräften bei der Planung eines zieldifferenten und kooperativen Unterrichts an einem gemeinsamen Gegenstand nach FEUSER (2019) ab. Differenzierungsmatrizen sind dabei eng mit dem struktur- und niveaorientierten Lernen verbunden (HOFFMANN & MENTHE, 2016). Durch eine Differenzierung sollen Lerngegenstände anschlussfähig für alle Lernenden gemacht werden (SASSE & SCHULZECK, 2020).

In der Matrix (siehe Abb. 2.2) werden auf der horizontalen Achse die Komplexität der Lehrinhalte aufgetragen (SASSE & SCHULZECK, 2013). Mit zunehmender Komplexität werden mehr zusätzliche Aspekte, Strukturelemente und erweiterte Fertigkeiten in den Inhalt einbezogen. Auf der vertikalen Achse ist das Niveau der Auseinandersetzung mit dem Inhalt (ESSER & AUSTERMANN, 2021) verortet. Diese Tätigkeitsstruktur (vertikale Achse) ist nach dem E-I-S-Prinzip von BRUNER (1974) unterteilt. Hierbei werden verschiedene Darstellungsformen unterschieden: die enaktive (konkrete Handlungen), ikonische (anschaulich-bildhafte) und symbolische (begrifflich-abstrakte) Darstellung. HOFFMANN und MENTHE (2016) erweitern diese Ebenen um die basal-perzeptive Darstellungsform, um Lernweisen zu berücksichtigen, die durch Sinneswahrnehmungen und körperliche Bewegung geprägt sind.

Differenzierungsmatrizen ermöglichen somit eine Strukturierung des Lerninhalts (Differenzierung) nach Tätigkeitsstruktur bzw. Darstellungsform und Komplexität. Nach REICH (2014) können damit Basiskompetenzen für alle Schüler*innen festgelegt werden.

Um Experimentierphasen inklusiver zu gestalten, erscheint insbesondere der Einsatz unterschiedlicher Darstellungsformen attraktiv. Verschiedene Experimentierformen, auch mit Blick auf analoge und digitale Experimente, können im weiteren Sinne als unterschiedliche Darstellungsformen von Experimenten aufgefasst werden. Diese gehen oft mit unterschiedlicher Kom-

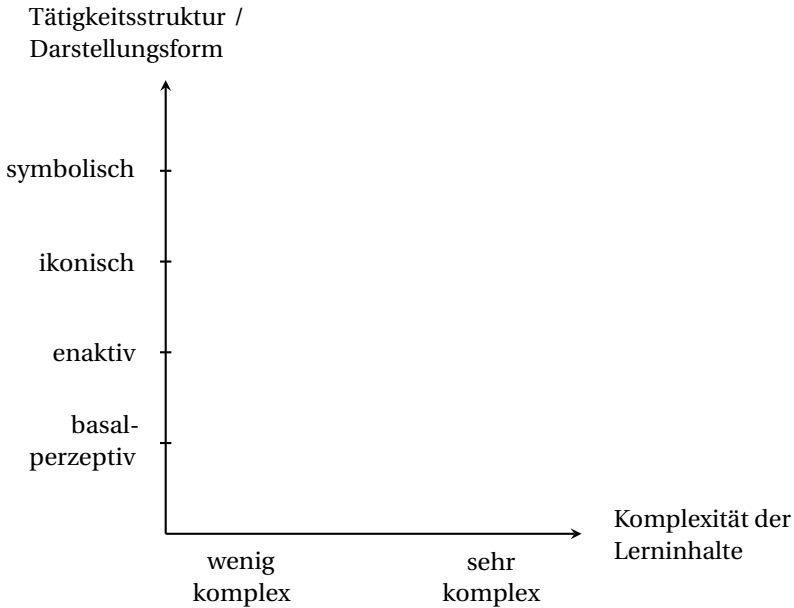


Abbildung 2.2: Differenzierungsmatrix in Anlehnung an HOFFMANN und MENTHE (2016) und KUTZER (1995).

plexität einher. Beispielsweise ist ein Freihandexperiment per Definition weniger komplex als ein Kochbuchversuch.

Es zeigt sich schlussendlich, dass die Idee des Angebots von Wahlmöglichkeiten aus verschiedenen Experimentierformen in Schüler*innenexperimentierphasen durchaus anschlussfähig an bestehende Konzepte für die Gestaltung eines inklusiven (Physik-)Unterrichts ist.

2.2 Schüler*innenexperimente

Das Ziel naturwissenschaftlichen Unterrichts ist es, das Wissen der Schüler*innen über die Natur zu erweitern (MILLAR, 2010). Dabei nimmt das Experimentieren eine besondere Rolle ein, denn durch Demonstrations- oder Schüler*innenexperimente können zum Beispiel Gesetzmäßigkeiten und Phänomene im Unterricht veranschaulicht anstatt lediglich erklärt werden (MILLAR, 2010). Experimente sind in den Kerncurricula und Bildungsstan-

dards fest verankert. So sieht die KMK (2005) Experimentieren als wesentlichen Bestandteil physikalischen Arbeitens und als relevanten Schritt in Erkenntnisgewinnungsprozessen im Physikunterricht an.

Für viele Lehrkräfte ist Experimentieren daher ein essentieller Teil des Unterrichts (MILLAR, 2010), und ein Großteil der Unterrichtszeit wird mit Experimentieren verbracht (BÖRLIN, 2012; TESCH & DUIT, 2004). Im Durchschnitt wird in jeder zweiten Physik- und Chemiestunde experimentiert (STINKEN-RÖSNER, 2020). Insbesondere Schüler*innenexperimente gelten oft als wichtigste Komponente des naturwissenschaftlichen Unterrichts (SWAIN et al., 1999). Experimente im Physikunterricht dienen dabei der Erkenntnisgewinnung und Vermittlung wissenschaftlichen Arbeitens (GIRWIDZ, 2020).

Auch für den inklusiven Naturwissenschaftsunterricht liegen bereits vielversprechende Ergebnisse in Bezug auf den Einsatz von Schüler*innenexperimenten vor. BAUMANN et al. (2018) fanden, dass Experimentieren in inklusiven Lerngruppen zu einem positiven Arbeitsklima führt. Zudem zeigte sich ein Ausbau von Sozialkompetenzen (DI FUCCIA, 2007) und fachlichen Vorstellungen (ROTT & MAROHN, 2016). Schüler*innenexperimente bieten vielfältige Chancen, Handlungsprozesse anzuleiten und durch eine Variation von Arbeits- und Sozialformen zu differenzieren und Barrieren abzubauen (NEHRING & WALKOWIAK, 2017). Trotz der Vorteile sind Experimente insbesondere im inklusiven Unterricht ebenfalls mit Herausforderungen verbunden, wie beispielsweise Sicherheitsrisiken beim experimentellen Arbeiten (HOFFMANN & MENTHE, 2015). Um Schüler*innenexperimente im Unterricht erfolgreich einzusetzen, ist es erforderlich, dass Lehrkräfte sich sowohl der Chancen als auch der Herausforderungen dieser bewusst sind (PAWLAK & GROSS, 2020).

2.2.1 Definitionen und Klassifikation

Es gibt unterschiedliche Vorstellungen darüber, welche Aktivitäten als Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht angesehen werden (BAUR et al., 2019). So sind Schüler*innenexperimente ein weit gefasster Begriff, der Tätigkeiten verschiedenster Art mit sehr unterschiedlichen Zielen (siehe Abschnitt 2.2.2) umfasst (MILLAR et al., 1999).

Für LUNETTA et al. (2007) ist mit Experimentieren jede Lernerfahrung gemeint, bei denen die Schüler*innen mit Materialien oder sekundären Daten-

quellen interagieren, um die Natur zu beobachten und zu verstehen. MILLAR (2010) hebt in diesem Zusammenhang die aktive Handlung der Lernenden hervor, schließt jedoch die Arbeit mit sekundären Datenquellen in seiner Definition aus. Er versteht unter Schüler*innenexperimenten jede naturwissenschaftliche Lehr- und Lernaktivität, bei der die Schüler*innen einzeln oder in Kleingruppen die zu untersuchenden Objekte oder Materialien beobachten bzw. manipulieren. Dabei grenzt er diese Form des Experimentierens, die er als „practical work“ bezeichnet, klar von Demonstrationsexperimenten ab. Für ihn besteht die Aktivität des Schüler*innenexperiments aus zwei Phasen – der Datensammlung und der Dateninterpretation³ (MILLAR, 2004), um Schlüsse aus diesen zu ziehen. Für NAWRATH et al. (2011, S. 47) gehören nicht nur Datensammlung und -interpretation zum Experimentieren, sondern das Entwickeln einer Fragestellung, das Aufstellen von Vermutungen oder Hypothesen, die Planung des Experiments, den (funktionsfähigen) Aufbau des Versuches, Beobachten/Messen/Dokumentieren, die Aufbereitung der Daten und das Ziehen von Schlüssen bzw. eine abschließende Diskussion. HACKING (1983) fasst Experimentieren enger und versteht unter einem Experiment eine Intervention, um ein zu observierendes Phänomen hervorzurufen oder eine Hypothese zu testen (MILLAR, 2010).

In dieser Arbeit wird daher die Definition von LUNETTA et al. (2007) herangezogen, da diese unterschiedliche Experimentierformen zulässt (siehe dazu auch Abschnitt 4.1).

Im Physikunterricht können Experimente nach verschiedenen Kriterien klassifiziert werden, die sich auf die Anforderungen an und Möglichkeiten von Experimenten auswirken. Dabei werden von verschiedenen Autoren unterschiedliche Klassifikationskriterien herangezogen.

GIRWIDZ (2020) klassifiziert nach:

- Datenerfassung: qualitativ oder quantitativ,
- Ausführende*r: Demonstrations- oder Schüler*innenexperiment,
- Unterrichtsphase: Einstieg, Erarbeitung oder Vertiefung bzw. Verständniskontrolle;

³ Zur Bedeutung der Auswertephase beim Experimentieren siehe MUTH (2018).

- Geräteeinsatz: Freihandversuch, Versuch mit Apparaturen und Messgeräten, Simulation, Gedankenexperiment;
- Ausführungsform: Einzelversuch, Parallelversuch, Versuchsserie.

WOOLNOUGH und ALLSOP (1985, zitiert nach MILLAR, 2010, S. 110) nehmen eine allgemeinere Klassifikation nach folgenden Kriterien vor:

- exercises (to develop practical skills and techniques),
- experiences (to give students a 'feel' for phenomena),
- investigations (to put students in the role of a 'problem-solving scientist').

Nach der Klassifikation von GIRWIDZ (2020) nutzt die vorliegende Studie qualitative Schüler*innenexperimente in einer Erarbeitungsphase mit unterschiedlichem Geräteeinsatz (siehe Abschnitt 4.1). WOOLNOUGH und ALLSOP (1985) würden diese Form des Experimentierens unter „investigations“ fassen.

2.2.2 Funktionen und Ziele

Experimente können im Physikunterricht nach GIRWIDZ (2020) unterschiedliche Funktionen einnehmen. Dazu gehören Phänomene und physikalische Konzepte veranschaulichen, Grunderfahrungen und physikalische Vorstellungen aufbauen und Gesetzmäßigkeiten erkennen, theoretische Aussagen oder Gesetze und Lernendenvorstellungen (quantitativ und qualitativ) prüfen, Physik in anderen Kontexten und Meilensteine der Geschichte zeigen, Denkanstöße liefern, Arbeitsweisen einüben sowie Motivieren und Eindrücke vermitteln.

Die erste Funktion, das Veranschaulichen von Phänomenen, erscheint im Kontext dieser Arbeit besonders relevant. MILLAR (2004) schränkt diese Funktion auf Phänomene ein, bei denen es unwahrscheinlich ist, dass die Schüler*innen sie in ihrem täglichen Leben (ausreichend genau) beobachtet haben. Seine Sichtweise schließt nicht insgesamt alltagsweltliche Kontexte für Schüler*innenexperimente aus, jedoch müssen für diese nicht zwingend Daten in Experimenten gesammelt werden, um auf grundlegende naturwissenschaftliche Ideen zu schließen.

Darüber hinaus, werden Experimente im Physikunterricht mit unterschiedlichen Zielen eingesetzt, welche ein häufig diskutierter Gegenstand in der Literatur sind. Die Ziele umfassen dabei in unterschiedlicher Formulierung die Vermittlung experimenteller Fähigkeiten und Fachwissen sowie Einblicke in das naturwissenschaftliche Arbeiten (HODSON, 1993; KARABÖCEK & ERB, 2015; LUNETTA et al., 2007). Dazu kommt insbesondere ein Fokus auf die Förderung von Motivation als weiteres Ziel. Anggeführt wird dies als „das Interesse anregen und Motivierung zur Weiterbeschäftigung“ (KARABÖCEK & ERB, 2015, S. 1), „interest and motivation“ (LUNETTA et al., 2007) oder auch „to motivate, by stimulating interest and enjoyment“ (HODSON, 1993). Dabei ist zu beachten, dass bei Experimentierphasen im Physikunterricht nicht alle Zielkategorien gleichzeitig angestrebt werden sollen, sondern sie als Entwicklungsaufgabe angedacht sind (GIRWIDZ, 2020). Daher und in Verbindung mit der aufgezeigten Bedeutsamkeit der Motivationsförderung erscheint es sinnvoll, Unterrichtseinheiten mit Schüler*innenexperimenten auch mit einem Hauptfokus auf das Anregen von Motivation zu konzipieren. Die Bedeutung von Wahlmöglichkeiten für die Förderung von Motivation wird im weiteren Verlauf des Kapitels herausgestellt.

Explizit in Bezug auf die Vermittlung von Fachwissen über Experimente, unterscheiden MILLAR et al. (2003, S. 13) folgende Lernziele:

- identify objects and phenomena and become familiar with them,
- learn a fact (or facts),
- learn a concept,
- learn a relationship,
- learn a theory/model.

Für die vorliegende Arbeit sind insbesondere die ersten beiden Lernziele von Bedeutung. Das erste Lernziel besteht darin, dass Schüler*innen ein Objekt, Medium oder Phänomen beobachten und einige Aspekte davon bemerken, an die sie sich vielleicht später erinnern. Das zweite Lernziel meint Beobachtungsaussagen, auf die sich leicht geeinigt werden kann (MILLAR, 2004). Für die ersten beiden Lernziele von Schüler*innenexperimente, bei denen der Schwerpunkt auf Objekten und Beobachtungen liegt, gibt es Hinweise darauf, dass diese ebenso wirksam sind wie andere Unterrichtsformen in der Vermittlung von Fachwissen (MILLAR, 2004).

In einer Studie von ABRAHAMS und MILLAR (2008) wurde gezeigt, dass der Schwerpunkt beim Einsatz von Schüler*innenexperimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht auf dem zentralen wissenschaftlichen Inhalt und nicht auf Aspekten der Planung von Experimenten oder der Sammlung, Analyse und Interpretation von Daten lag. Auch in der vorliegenden Arbeit werden Experimente eingesetzt, um Fachwissen zu vermitteln und positiv auf motivational-affektive Schüler*innenmerkmale zu wirken, und nicht um experimentelle Handlungsweisen einzuüben. Hierfür sei auf die Arbeit von KLAUTKE und THEYSSEN (2021) verwiesen, die das Planen und Aufbauen von Experimenten mithilfe einer nach dem UDL aufbereiteten Lernumgebung unterstützen möchten.

2.2.3 Sichtweise von Lehrkräften auf Schüler*innenexperimente

Der vorangegangene Abschnitt hat gezeigt, dass in der Literatur viele Ziele von Experimenten benannt und diskutiert werden. Auch liegen empirische Daten vor, mit welchen Zielen Lehrkräfte Experimente in ihrem Unterricht einsetzen.

In der ersten groß angelegten Untersuchung zu den Ansichten praktizierenden Lehrkräfte über die Ziele von Experimentieren lies KERR (1963) folgende Ziele von Experimenten (Schüler*innen- und Demonstrationsexperimente) nach ihrer Bedeutung ordnen (KERR, 1963, zitiert nach MILLAR, 2010, S. 111):

1. *To encourage accurate observation and description.*
2. *To promote a logical reasoning method of thought.*
3. To develop specific manipulative skills.
4. To practise seeing problems and seeking ways of solving them.
5. To prepare students for practical examinations.
6. To elucidate the theoretical work as an aid to comprehension.
7. To verify facts and principles already taught.
8. For finding facts and arriving at new principles.
9. *To arouse and maintain interest.*
10. *To make phenomena more real.*

In unmittelbarer Nachfolge zu KERR (1963) wurden die Studien von ABRAHAMS und SAGLAM (2010), BEATTY und WOOLNOUGH (1982), SWAIN et al. (1999) und WOOLNOUGH (1976) durchgeführt. Die Ziele 1, 2, 9 und 10 wurden in allen Studien über britische Lehrkräfte hoch eingestuft (MILLAR, 2010) und wurden daher kursiv hervorgehoben. MILLAR (2010) kritisiert jedoch die Validität der Studien eines solchen Designs, da die vorgegebenen Ziele Interpretationsspielraum zulassen und wenig über die tatsächliche Unterrichtspraxis aussagen. In der Studie von WOOLNOUGH (1976) wurde „to encourage accurate observation and description“ wie bei KERR (1963) als wichtigstes Ziel angegeben. BEATTY und WOOLNOUGH (1982) nutzten die Zielkategorien von KERR (1963), ergänzten diese jedoch um zehn weitere aus den Studien von THOMPSON (1975) und WOOLNOUGH (1976) und fanden, dass die wichtigsten Ziele Experimentierfähigkeiten und affektive Ziele sind. SWAIN et al. (1999) untersuchten die Ziele von Experimentieren mithilfe des Fragebogens von BEATTY und WOOLNOUGH (1982) in verschiedenen Ländern. Es wurde ein Konsens bei dem Ziel „to encourage accurate observation and description“ gefunden. ABRAHAMS und SAGLAM (2010) verwendeten ebenfalls die Ziele von KERR (1963) und fanden, dass das Anregen von Interesse („To arouse and maintain interest“) das wichtigste Ziel von Schüler*innenexperimenten aus Sicht der Lehrkräfte darstellt.

In Einklang mit der Theorie in Abschnitt 2.2.2, die die Förderung von Motivation und Interesse als relevantes Ziel von Experimenten benennt, zeichnet sich dieses Ziel ebenfalls aus Sicht von Lehrkräften in den zuvor diskutierten Studien in Bezug auf Schüler*innenexperimente im Speziellen ab. In einer eigenen Studie (SÜHRIG et al., 2021a) konnten diese Befunde auch für den inklusiven Physikunterricht reproduziert werden. Es ist eine verbreitete Ansicht unter Lehrkräften, dass der Einsatz von Schüler*innenexperimenten die Schüler*innen motiviert (WELLINGTON, 2005, zitiert nach ABRAHAMS, 2009). In einer Studie von ABRAHAMS (2009) haben Lehrkräfte in Interviews zwei affektive Ziele von Schüler*innenexperimenten angegeben: zum einen Verhaltenssteuerung der Klasse und zum anderen, um das Bild von Naturwissenschaft als langweilig und schwierig durch den Einsatz von unterhaltsamen Experimenten abzulösen.

2.2.4 Effekte von Schüler*innenexperimenten

Wie in den beiden vorangegangenen Abschnitten dargestellt, werden von Fachdidaktiker*innen und Lehrkräften erstrebenswerte Ziele von Schüler*innenexperimenten benannt und gewichtet, jedoch können dadurch die tatsächlichen Wirkungen von Experimenten auf Schüler*innen nicht vorhergesagt werden. Im folgenden Abschnitt wird daher eine Übersicht zu empirisch gesicherten Effekten von Schüler*innenexperimenten zusammengestellt.

BREDDERMAN (1983) fand in einer Meta-Studie über experimentierbasierte US-amerikanische Wissenschaftsprogramme⁴ für den Grundschulunterricht einen positiven, aber schwachen Effekt von Schüler*innenexperimenten auf den Fachwissenszuwachs. STOHR-HUNT (1996) konnte einen positiven Zusammenhang zwischen der Zeit, die Achtklässler*innen innerhalb eines Wissenschaftsprogramms mit praktischen Tätigkeiten wie Schüler*innenexperimenten („inquiry“) verbringen, und ihren wissenschaftlichen Leistungen im Bereich Fachwissen und wissenschaftliche Argumentationsfähigkeit zeigen. Studien, die themenspezifisch den Effekt von Schüler*innenexperimenten im Vergleich zu anderen Unterrichtsformen untersuchten, wiesen keine Unterschiede zwischen Schüler*innenexperimenten und anderen Unterrichtsformen in Bezug auf Fachwissenszuwachs nach (WATSON et al., 1995; YAGER et al., 1969). ABRAHAMS und MILLAR (2008) fanden in einer Analyse von naturwissenschaftlichen Unterrichtsstunden innerhalb einer Fallstudie in Beobachtungsdaten und Interviews, dass Schüler*innenexperimente darin wirksam sind, Schüler*innen dazu zu bringen, die vorgesehenen Handlungsschritte mit physischen Objekten auszuführen.⁵ Jedoch sind diese weniger wirksam, Schüler*innen zur Nutzung wissenschaftlicher Konzepte für die Lenkung ihrer Handlungen und zur Reflexion der von ihnen gesammelten Daten zu bringen. Dabei ist zu beachten, dass Schüler*innen bei Experimenten, die in alltäglichen Kontexten durchgeführt wurden, weniger gut abschnitten als bei solchen, die in wissenschaftliche Kontexte eingebettet waren (MILLAR, 2010).

4 Ein Wissenschaftsprogramm („science programme“) ist eine Unterrichtsreihe, die von Bildungsinstitutionen entwickelt wird, um spezifische Lernziele oder Kompetenzen zu vermitteln und ist damit als eine komplexe Intervention zu verstehen.

5 Nach der Definition von Schüler*innenexperimenten nach HACKING (1983) ist das als „Hervorrufen eines zu observierenden Phänomens“ zu deuten.

LUNETTA et al. (2007) geben eine Übersicht über Studien, die berichten, dass Schüler*innen Spaß an Schüler*innenexperimenten haben. Zudem lassen sich in mehreren Studien Hinweise finden, dass Lernende in einigen Kursen gerne experimentieren und dass Experimente zu einer Verbesserung von Einstellung und Interesse an den Naturwissenschaften geführt haben (HOFSTEIN & LUNETTA, 2004). WINKELMANN (2015) konnte einen positiven Effekt von Schüler*innenexperimenten auf die experimentierbezogene Selbstwirksamkeitserwartung zeigen, jedoch nicht auf das Interesse an Physik. SEIDEL et al. (2006) fanden einen positiven Zusammenhang zwischen schüler*innenzentrierten Arbeitsformen, wo auch Schüler*innenexperimentierphasen zu zählen, und der wahrgenommenen Autonomieunterstützung. In einer vom Design her ähnlichen Studie wie ABRAHAMS und MILLAR (2008) konnte ABRAHAMS (2009) jedoch zeigen, dass Schüler*innenexperimente zwar kurzfristiges Interesse hervorrufen, jedoch relativ unwirksam sind, Motivation für ein naturwissenschaftliches Studium oder ein längerfristiges persönliches Interesse an naturwissenschaftlichen Fächern zu wecken.

Es existieren somit Hinweise, dass Schüler*innenexperimente positive Auswirkungen auf das Fachwissen und die Motivation haben können, obgleich die Studienlage dahingehend bisher keine eindeutigen Ergebnisse liefern konnte. Es steht jedoch fest, dass die Beliebtheit von Schüler*innenexperimenten im Laufe der Schulzeit abnimmt (ABRAHAMS, 2009). Wie die Abschnitte 2.2.2 und 2.2.3 dargelegt haben, stellt die Förderung von Motivation jedoch ein wichtiges Ziel von Experimenten dar. Vor diesem Hintergrund erscheint es förderlich, Strategien zum Aufbau (und Erhalt) von Motivation wie den Einsatz von Wahlfreiheit auch beim Experimentieren einzusetzen.

2.3 Motivation und Interesse

Nicht nur die Beliebtheit von Schüler*innenexperimenten nimmt in der Schulzeit ab, sondern auch das Interesse und die intrinsische Motivation. Das stetig zunehmende Bedürfnis nach Selbstbestimmung und Autonomie, das als Faktor für die Abnahme schulischer Interessen gesehen wird, steht dabei im Konflikt zu dem oftmals stark lehrkraftgesteuerten Unterricht (GNAMBS & HANFSTINGL, 2016; SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020). Obgleich Schüler*innenexperimentierphasen wenig lehrkraftgesteuert sind, scheinen diese nicht

allein in der Lage zu sein, der Interessensabnahme entgegen zu wirken. Hier können Wahlmöglichkeiten, die das Autonomieerleben stärken, eine mögliche Abhilfe bieten.

In einem inklusiven Unterricht, der die Partizipation aller zum Ziel hat, haben Schüler*innen Möglichkeiten, Themen und Aktivitäten auszuwählen, die ihren Interessen, Fähigkeiten und Bedürfnissen entsprechen, und sind dadurch intrinsisch motivierter, am Unterricht teilzunehmen. Ein inkludierender Unterricht sollte somit ein motivierender Unterricht sein. Dies ist für Lehr-Lern-Prozesse sehr relevant, da Motivation in diesen eine zentrale Rolle spielt. Sie wirkt sich zum einen direkt auf die Schüler*innenleistung aus, zum anderen beeinflusst sie auch, dass sich Lernende mit bestimmten Fächern auseinandersetzen (SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020). Vor diesem Hintergrund erscheint die Förderung von Motivation und Interesse insbesondere im inklusiven Physikunterricht zentral, da Physik noch immer unbeliebtestes Schulfach ist (FRUBÖSE, 2010).

Die folgenden Abschnitte konzentrieren sich daher darauf, Motivation und Interesse mit einem Fokus auf die intrinsische Motivation zu umreißen sowie in diesem Kontext die Effekte von Wahlfreiheit in Abschnitt 2.4 zu diskutieren.

2.3.1 Motivation

Motivation gilt als zentrales Konstrukt, um Verhalten (Zielrichtung, Ausdauer und Intensität einer Handlung) zu erklären (SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020) und wird allgemein als die Absicht verstanden, eine bestimmte Tätigkeit in einer spezifischen Situation ausführen zu wollen (SCHIEFELE, 2009). In der pädagogischen Psychologie wird zwischen extrinsischer und intrinsischer Motivation unterschieden. Beide Begriffe beziehen sich dabei meist auf das Lernen (SCHIEFELE et al., 2018), weshalb man in diesem Zusammenhang oftmals von Lernmotivation spricht. Extrinsische Lernmotivation charakterisiert die Absicht, eine Lernhandlung aufgrund positiver Konsequenzen (wie z.B. Stolz durch gute Schulnoten) oder Vermeidung negativer Konsequenzen durchzuführen. Dabei liegen die angestrebten Zielzustände außerhalb der Handlung und die Anreize zur Handlungsausführung in den Handlungsfolgen (SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020; URHAHNE, 2008). Die extrinsische Motivation wird in die soziale Motivation, Kompetenz-, Wettbewerbs-, Berufs- und Leistungsmotivation untergliedert (SCHIEFELE et al., 2018).

Bei intrinsischer Lernmotivation hingegen wird die Handlung mit positiven Erlebenszuständen begleitet und daraus resultiert die Absicht, diese durchzuführen. Somit liegen die angestrebten Zielzustände innerhalb der Handlung und die Handlung wird um ihrer selbst willen durchgeführt (SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020; URHAHNE, 2008). Intrinsisch motiviertes Lernen gilt als erstrebenswerteste Lernform, da Schüler*innen aus eigenem Antrieb lernen (URHAHNE, 2008).

In dieser Arbeit ist die intrinsische Lernmotivation durch ihren Zusammenhang mit Wahlfreiheit von besonderer Relevanz und wird daher im Folgenden näher ausgeführt. Als behavioristische Theorien für die Erklärung des Explorations- und Neugierverhaltens an ihre Grenzen stießen, da im Gegensatz zu extrinsisch motivierten Verhaltensweisen kein äußerer Reiz wie eine Belohnung vorlag, wurde das Konstrukt der intrinsischen Motivation entwickelt (DECI & RYAN, 1985; SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020). Die Selbstbestimmungstheorie von DECI und RYAN (1985) gilt als wichtigste moderne Theorie der intrinsischen Motivation (SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020) und wird daher in Abschnitt 2.3.2 näher vorgestellt. SCHIEFELE und SCHAFFNER (2020) unterscheiden darüber hinaus zwei Formen der intrinsischen Motivation: tätigkeitszentrierte und gegenstandszentrierte intrinsische Lernmotivation. Erstere wird durch bestimmte Handlungsformen ausgelöst, letztere entsteht durch den jeweiligen Lerngegenstand. Somit kann entweder die mit der Handlung verbundene Aktivität wie z.B. Experimentieren oder die Eigenschaften des Handlungsgegenstandes, z.B. Physik, motivierend wirken (SCHIEFELE et al., 2018). Die Existenz dieser Formen konnte in Studien jedoch bisher nicht belegt werden (SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020) und wird deshalb nicht als Grundlage für diese Arbeit verwendet.

Intrinsische Lernmotivation wirkt sich im Vergleich zu extrinsischer vorteilhafter auf Lernen aus (URHAHNE, 2008). In Studien (siehe u.a. CERASOLI et al. (2014), RYAN und DECI (2006) und TAYLOR et al. (2014), sowie für eine Übersicht SCHIEFELE und SCHAFFNER (2020)) wurde ein positiver Zusammenhang von intrinsischer Motivation und schulischen Leistungen gefunden, von dem insbesondere schwächere Schüler*innen profitieren können (HAYWOOD, 1968, zitiert nach TZURIEL und KLEIN, 1983). Für extrinsische Motivation dagegen wurden auch negative Effekte auf Schulleistungen gefunden (LEPPER et al., 2005). CERASOLI et al. (2014) haben nachgewiesen, dass extrinsische

Anreize die intrinsische Motivation schwächen, wenn sie direkt und salient mit der Handlung in Verbindung stehen, wobei indirekte und wenig saliente extrinsische Anreize die intrinsische Motivation hingegen stärken (SCHIEFELE et al., 2018).

2.3.2 Selbstbestimmungstheorie

Die Selbstbestimmungstheorie (RYAN & DECI, 2000) gilt als der bedeutsamste moderne Ansatz⁶ (SCHIEFELE, 2009), Determinanten der intrinsischen Motivation zu bestimmen (SCHIEFELE, 2009). DECI und RYAN (1985, 2002b) führen das Auftreten intrinsisch motivierten Verhaltens auf die drei (angeborenen) Grundbedürfnisse nach Kompetenz, Selbstbestimmung und sozialer Bezo-genheit zurück (URHAHNE, 2008).

„Intrinsic motivation is based in the innate, organismic needs for competence and self-determination. It energizes a wide variety of behaviors and psychological processes for which the primary rewards are the experiences of effectance and autonomy (DECI & RYAN, 1985, S. 32).“

DECI und RYAN (1985, 2002b) sind aufbauend auf WHITE (1959) der Ansicht, dass Menschen das Bedürfnis haben, sich „effektiv und kompetent mit ihrer Umwelt auseinanderzusetzen“ (SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020, S. 167) und damit selbstwirksam zu handeln. Wird dieses Bedürfnis in einer Handlung erfüllt, kann intrinsische Motivation auftreten. Neben diesem Kompetenzbedürfnis ist für das Eintreten intrinsischer Motivation vorausgesetzt, dass die Handlung selbstbestimmt und frei von äußerem Druck erfolgt (SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020). Das Bedürfnis nach Autonomie spielt eine zentrale Rolle innerhalb der Selbstbestimmungstheorie (RYAN & DECI, 2017). Dabei wird davon ausgegangen, dass Autonomie als etwas Positives erlebt wird. Menschen fühlen sich in diesem Fall frei von äußeren Zwängen und eigenverantwortlich

6 Neben der Selbstbestimmungstheorie existiert zur Erklärung des Auftretens intrinsischer Motivation die Flowtheorie von CSIKSZENTMIHALYI (2019) und die Interessentheorie von PRENZEL et al. (2019) sowie Theorien optimaler Stimulierung (z.B. BERLYNE (1974)) und Bedürfnistheorien. Ein Überblick über die Theorien ist bei URHAHNE (2008) oder bei (SCHIEFELE et al., 2018) zu finden. Interesse wird in dieser Studie als Unterkonstrukt der intrinsischen Motivation behandelt und gemessen.

(URHAHNE, 2008). DECI und RYAN (1985) bauen dabei auf die Theorie von DE CHARMS (1983) auf, welcher intrinsisch motiviertes Verhalten als Resultat des Bedürfnisses nach persönlicher Verursachung sieht. Als drittes Grundbedürfnis für das Auftreten intrinsisch motivierten Verhaltens nennen DECI und RYAN (1985, 2002b) die soziale Bezogenheit. Intrinsische Motivation kann so zum Beispiel durch kooperative Tätigkeiten, die intrinsische Reize enthalten, entstehen (SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020). In neueren Publikationen wird dieses Bedürfnis nach Zugehörigkeit und Verbundenheit für das Entstehen intrinsischer Motivation nicht mehr als zentral angesehen (DECI und RYAN, 2002, zitiert nach URHAHNE, 2008). Durch den positiven Erlebniswert von Kompetenz und Selbstbestimmung können Handlungen auch ohne äußeren Reiz initiiert werden (SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020). Innerhalb ihrer Selbstbestimmungstheorie haben DECI und RYAN (1985, 2002b) auf die Bedeutung von Wahlmöglichkeiten für die Entwicklung intrinsischer Motivation und Interesse hingewiesen (SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020).

2.3.3 Interesse

Interesse bezieht sich im Gegensatz zu Motivation (oder auch Selbstkonzept, siehe Abschnitt 2.3.4) immer auf ein bestimmtes Objekt, Tätigkeit oder Themengebiet (SCHIEFELE, 2009; URHAHNE, 2008). Interesse gilt als mögliche Vorstufe von Motivation (SCHIEFELE, 2009) oder als Motiv, das zu intrinsisch motiviertem Verhalten führt (HIDI, 2000). In der Selbstbestimmungstheorie wird Interesse als impliziter Aspekt der intrinsischen Motivation betrachtet (DECI, 1992). Übereinstimmend ist, dass Interesse und intrinsische Motivation miteinander verknüpft sind.

In der Psychologie wird zwischen individuellem (persönlichem) und situativen Interesse unterschieden (HIDI & HARACKIEWICZ, 2000; SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020). Individuelles Interesse ist ein überdauerndes Personenmerkmal, welches sich durch die Beschäftigung mit einem Gegenstand entwickelt, während das situative Interesse ein Zustand des Interessiertseins beschreibt, der situationsspezifisch und handlungsbegleitend durch äußere Umstände auftritt (SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020). Situationsspezifisches Interesse wird durch die aktuellen Anregungsbedingungen und die Interessenheit der Lernumgebung bewirkt (URHAHNE, 2008). Das Erleben situati-

ven Interesses stellt eine Quelle von intrinsischer Motivation dar (SCHIEFELE, 2009; SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020).

Studien zu individuellem Interesse haben ergeben, dass Schüler*innen, die einer Tätigkeit nachgingen, an welcher sie bereits ein persönliches Interesse hatten, im Vergleich zu denen ohne persönliches Interesse, eine erhöhte Aufmerksamkeit für neues Material zeigten, mehr daraus lernten und sich länger damit beschäftigten (vgl. RENNINGER (1998, zitiert nach ABRAHAMS, 2009) und SCHIEFELE (1996)). Es besteht eine wechselseitige Beziehung zwischen Wissen in einem Bereich und individuellem Interesse, da Lernende eine Präferenz dafür haben, sich mit dem zu beschäftigen, was sie interessiert und das individuelle Interesse zunimmt, je mehr Wissen in dem Bereich besteht (BERGIN, 1999). Im Kontext des Textverstehens fanden ALEXANDER et al. (1994) einen positiven Zusammenhang von Interesse und fachlichem Lernen. Auch berichten SCHIEFELE und SCHAFFNER (2020) von einem positiven Zusammenhang des situativen Interesses mit dem Lernen von Texten. BERGIN (1999) argumentiert jedoch, dass eine Steigerung des Interesses nicht notwendigerweise zu einer Verbesserung des Lernens führt. Zahlreiche Faktoren können das individuelle Interesse anregen, die im Allgemeinen außerhalb des unmittelbaren Einflussbereichs der Lehrkraft liegen (ABRAHAMS, 2009).

In dieser Arbeit wird nach DECI (1992) Interesse als ein Aspekt der intrinsischen Motivation behandelt und erhoben (siehe Kapitel 6).

2.3.4 Selbstkonzept und Selbstwirksamkeitserwartung

Zu den motivationalen Konstrukten gehören ebenfalls das Selbstkonzept und die Selbstwirksamkeitserwartung.

Das Selbstkonzept (SK) bezeichnet die mentale Repräsentation der eigenen Person (MÖLLER & TRAUTWEIN, 2020) und umfasst damit Vorstellungen, Einschätzung und Bewertungen des Selbsts (MOSCHNER & DICKHÄUSER, 2010). Das Selbstkonzept wird durch direkte Erfahrungen und durch Beurteilungen von wichtigen Bezugspersonen geformt (BANDURA, 1997). In der Psychologie wird das Selbstkonzept als kognitiv-beschreibendes Konzept von dem affektiv-evaluierenden Selbstwertgefühl abgegrenzt, welches aus der Gesamtheit aller Selbstkonzepte einer Person gebildet wird (MOSCHNER

& DICKHÄUSER, 2010). Selbstkonzept und Leistung stehen in einem wechselseitigen Zusammenhang (MÖLLER & TRAUTWEIN, 2020; MOSCHNER & DICKHÄUSER, 2010), der auch empirisch gezeigt werden konnte (HANSFORD & HATTIE, 1982). Zudem belegen empirische Befunde den positiven Zusammenhang von Selbstkonzept, Interesse und schulischer Leistung (DENISSEN et al., 2007), wobei der Zusammenhang zwischen Interesse und Selbstkonzept am stärksten und zwischen Interesse und Leistung am schwächsten beobachtet wurde.

Selbstwirksamkeit bzw. Selbstwirksamkeitserwartung (SWE) geht als eine der zentralen motivationalen Variablen (KÖLLER & MÖLLER, 2010) auf BANDURA (1997) zurück und bezeichnet die „Überzeugung einer Person, das zum Erreichen eines Handlungsergebnisses erforderliche Verhalten erfolgreich ausführen zu können“ (MOSCHNER & DICKHÄUSER, 2010, S. 760). Dabei bezieht sich dieser Glaube an die eigene Kompetenz auf die Bewältigung neuer oder schwieriger Anforderungssituationen (KÖLLER & MÖLLER, 2010; SCHWARZER & JERUSALEM, 2002). Nach der sozial-kognitiven Theorie von BANDURA (1997) werden kognitive, affektiv-motivationale und handlungsbezogene Prozesse durch subjektive Überzeugungen wie u.a. Selbstwirksamkeitserwartungen ausschlaggebend beeinflusst (SCHWARZER & JERUSALEM, 2002). Diese Prozesse steuern die Umsetzung von Wissen und Fähigkeiten in kompetentes Handeln (BANDURA, 1997). Die empirisch gesicherte Theorie besagt, dass Selbstwirksamkeitserwartungen Schlüsselindikatoren der schulischen Motivation (ZIMMERMAN, 2000) wie die Initiation von Handlungen bzw. die Wahl von Aktivitäten, die dabei aufgebrachte Anstrengung und das Durchhaltevermögen steuern (MOSCHNER & DICKHÄUSER, 2010). Demnach beteiligen sich Schüler*innen mit einer höheren Selbstwirksamkeitserwartung bereitwilliger, strengen sich mehr an und halten länger durch, wenn sie auf Schwierigkeiten stoßen, im Vergleich zu Schüler*innen mit einer niedrigeren Selbstwirksamkeitserwartung (ZIMMERMAN, 1995) bei einem vergleichbaren Fähigkeitsniveau (BANDURA, 1997).

Im Gegensatz zum Selbstkonzept, welches sich auf persönliche Eigenschaften fokussiert (ZIMMERMAN, 2000) und daher aus Vergleichen zum Beispiel mit Mitschüler*innen konstituiert, basiert die Selbstwirksamkeit als Einschätzung der eigenen Leistungsfähigkeit vorrangig auf Erfahrungen im gleichen

Handlungsfeld (KÖLLER & MÖLLER, 2010; MÖLLER & TRAUTWEIN, 2020), die als Indikator für die eigene Fähigkeit dienen (BANDURA, 1997). Nach BANDURA (1997) gibt es vier Quellen für die Aquis von Kompetenzerwartungen: eigene Erfolgserfahrungen, stellvertretende Erfahrungen durch Beobachtung von Verhaltensmodellen, Überredung (z.B. Fremdbewertung) und Wahrnehmungen eigener Gefühlserregung (z.B. Angst kann als unzureichende Kompetenz interpretiert werden), wobei eigene Erfahrungen den größten Einfluss haben (SCHWARZER & JERUSALEM, 2002). Verwandt mit dem Begriff der Selbstwirksamkeit nach BANDURA (1977) sind die „agency beliefs“⁷ von SKINNER et al. (1988), die jedoch weiter gefasst sind und sich aus einem breiten Spektrum möglicher Ursachen ergeben. Selbstwirksamkeit und Leistung stehen in einem reziproken Zusammenhang (KÖLLER & MÖLLER, 2010; ZIMMERMAN, 2000). Dabei erwiesen sich Selbstwirksamkeitserwartungen als besserer Prädiktor schulischer Leistungen als das Selbstkonzept (ZIMMERMAN, 2000). Auch konnten SCHÜTTE et al. (2007, zitiert nach SCHROEDTER und KÖRNER, 2012) zeigen, dass die naturwissenschaftliche Selbstwirksamkeitserwartung mit der naturwissenschaftlichen Kompetenz korreliert. Selbstwirksamkeit und Selbstkonzept werden hingegen von Interesse und Motivation beeinflusst (KÖRNER & IHRINGER, 2016).

2.4 Wahlfreiheit im Unterricht

Der empirische Forschungsstand zu Wahlfreiheit ist insgesamt uneindeutig (KATZ & ASSOR, 2007). Unterschiedliche Studien zeigen positive und negative Effekte von Wahlfreiheit in unterschiedlichen Kontexten (eine Übersicht ausgewählter Studien ist auch bei PATALL et al. (2008) zu finden). Die folgenden Abschnitte geben daher einen Überblick über die empirische Forschungslage zu Wahlmöglichkeiten.

Wahlmöglichkeiten können die wahrgenommene Autonomie positiv beeinflussen (NIEMIEC & RYAN, 2009). Deswegen ist eine Strategie zur Steigerung des Autonomieerlebens das Angebot von Wahlmöglichkeiten (SKINNER & BELMONT, 1993), da Schüler*innen Aufgaben auswählen können, die mit ihren Zielen und Interessen übereinstimmen (ASSOR et al., 2002). Autonomie-

7 SKINNER et al. (1988) definieren diese als Erwartungen eines Akteurs an die eigene Handlungsfähigkeit.

erleben im Unterricht führt zu positiveren Gefühlen gegenüber der gestellten Aufgabe und zu erhöhtem kognitivem Engagement („cognitive engagement“) (ASSOR et al., 2002). HARTINGER (2008) schlägt Wahlmöglichkeiten bezüglich Inhalten, Lernwegen und Aufgaben, Sozialformen und -partnern, Zeiteinteilung, Raumnutzung oder Korrektur von Aufgaben vor, um das Empfinden von Selbstbestimmung und damit das Interesse von Schüler*innen zu steigern. KÖRNER und IHRINGER (2016) empfehlen basierend darauf das Angebot von Wahlmöglichkeit zwischen verschiedenen Experimentierangeboten für die Steigerung des Autonomieerlebens.

In der Literatur existieren dessen ungeachtet auch negative oder keine Effekte von Wahlfreiheit. FLOWERDAY et al. (2004) haben einen kleinen negativen Effekt von Wahlmöglichkeiten auf das Verfassen von Inhaltsaufsätzen ermittelt. FLOWERDAY und SCHRAW (2003) fanden keinen positiven Effekt von Wahlmöglichkeit auf kognitives Engagement, jedoch auf Einstellung und Anstrengungsbereitschaft. FLOWERDAY und SHELL (2015) sahen keine Auswirkung von Wahlfreiheit auf das situative Interesse, das Lernen oder das Engagement. d'AILLY (2004) zeigten, dass die Auswahl von Namen, Tieren oder Zahlen keinen signifikanten Einfluss auf das Interesse, die Leistung oder den Lernerfolg von Fünft- und Sechstklässlern im Kontext vom Fremdsprachenlernen hatte.

Wahlfreiheit und intrinsische Motivation

Empirische Studien konnten den von der Selbstbestimmungstheorie proklamierten Zusammenhang zwischen intrinsischer Motivation und Autonomieerleben zeigen (Übersicht siehe DECI und RYAN (2000)). Auch PATALL et al. (2008) fanden in einer Meta-Studie für verschiedene Arten von Wahlmöglichkeiten signifikante positive Effekte auf die intrinsische Motivation. Dabei scheint es eine kulturelle Abhängigkeit der Effekte zu geben. IYENGAR und LEPPER (1999) haben gezeigt, dass die Verweigerung einer Wahlmöglichkeit durch ein Mitglied der eigenen Gruppe die intrinsische Motivation und Leistung asiatisch-amerikanischer Kinder nicht beeinträchtigt – im Gegensatz zu angloamerikanischen Kindern, die eine höhere intrinsische Motivation aufwiesen, wenn sie selbst wählen durften.

Im Kontext von Hausaufgaben zeigten PATALL et al. (2010) positive Effekte von Wahlmöglichkeiten auf intrinsische Motivation, wahrgenommene Kom-

petenz und Fachwissenszuwachs. In einer Studie von MEYER-AHRENS et al. (2010) konnte gezeigt werden, dass bereits eine scheinbare Wahl positive Effekte auf die intrinsische Motivation von Schüler*innen hatte. HARTINGER (2006) sah einen positiven Zusammenhang von Interesse am Unterricht und wahrgenommenen Mitbestimmungsmöglichkeiten. KEMPA und DIAZ (1990, zitiert nach MILLAR, 2010) wiesen darauf hin, dass Schüler*innen Spaß an Schüler*innenexperimenten haben, die ihnen eine gewisse Kontrolle über das, was sie tun, ermöglichen. In einer Studie zu Schüler*inneninteresse von MCPHAIL et al. (2000) zeigten Schüler*innen, die ihre Erstwahl bei einer Wahlaktivität im Unterricht ausführten, signifikant bessere Werte in affektiven Merkmalen und Aktivierung als die Kontrollgruppe, die ihre Zweitwahl erhalten hat.

In einer Studie von ASSOR et al. (2002) hat sich das Fördern von Relevanz als gewinnbringender als das Angebot von Wahlmöglichkeiten in Bezug auf das Hervorrufen positiver Emotionen und die Einschätzung des eigenen Lernengagements erwiesen. SCHRAW et al. (1998) beobachteten, dass das Angebot einer Wahlmöglichkeit die positive affektive Wahrnehmung einer Leseaufgabe bei Studierenden verstärkte, aber keinen Einfluss auf das kognitive Engagement bei dieser Aufgabe hatte. Auch nach Ergebnissen von HATTIE (2010) wirken sich Wahlmöglichkeiten stärker auf Motivation als auf Lernergebnisse aus. Im Bereich der Musikdidaktik zeigte Wahlfreiheit hingegen positive Effekte auf das Engagement in höherwertigen kognitiven Funktionen des Klarinettespielens (RENWICK & MCPHERSON, 2002). Der Zusammenhang zwischen Wahlfreiheit und Engagement konnte auch für den Naturwissenschaftsunterricht von CHEN und LINN (2019) gezeigt werden.

GROLNICK und RYAN (1987) fanden, dass Lernarrangements mit Autonomie⁸ zu größerem Interesse und besserem konzeptionellen Lernen im Vergleich zu einer kontrollierenden Lernumgebung führte. DESCH et al. (2015) zeigten eine Abhängigkeit des situationsspezifischen Interesses von dem Angebot von Wahlmöglichkeiten (Themenwahl). Zudem konnten die Autoren zeigen, dass fehlendes Fachinteresse durch autonomieförderliche Maßnahmen ausgeglichen werden konnte. Auch HØGHEIM und REBER (2017) und

8 Autonomie kann als Wahlmöglichkeit operationalisiert werden (WILDE et al., 2018).

REBER et al. (2009) sahen einen positiven Zusammenhang von Beispielwahl und situationalem Interesse.

Das Autonomieerleben und folglich intrinsische Motivation und Interesse nehmen allerdings nicht linear mit dem Ausmaß an Wahlfreiheiten zu (LIPOWSKY, 2020), siehe dazu Abschnitt 2.4.2. Ebenfalls fanden WIJNIA et al. (2011) beim Vergleich von schüler*innenzentriertem problembasierten Lernen und Frontalunterricht („lecture-based environment“), dass problembasiertes Lernen nicht mit höherer intrinsischer Motivation korrespondiert und damit ein höheres Autonomieerleben der Lernenden nicht mit einem größeren Ausmaß an Wahlmöglichkeiten einhergeht (LIPOWSKY, 2020). Basierend darauf postuliert LIPOWSKY (2020), dass Wahlfreiheiten Motivation fördern, wenn die zur Wahl stehenden Angebote als interessant und herausfordernd, aber nicht zu komplex wahrgenommen werden.

Wahlfreiheit und Selbstkonzept sowie Selbstwirksamkeitserwartung

Nach der Theorie von BANDURA (1997) (siehe auch Abschnitt 2.3.4) ist Selbstwirksamkeitserwartung auf dem Glauben an die eigenen Fähigkeiten begründet. Dieser Glaube setzt das Erleben von autonomem Handeln voraus. Dieser Zusammenhang konnte auch empirisch belegt werden. So fanden TILFARLIOGLU und CIFTCI (2011) im Kontext von Sprachenlernen einen (starken) positiven Zusammenhang zwischen Selbstwirksamkeitserwartung und Autonomie. Für den Physikunterricht konnten FLUNGER et al. (2019) eine starke positive Korrelation zwischen Selbstwirksamkeitserwartung und (durch Wahlmöglichkeiten bedingte) Autonomie nachweisen. Auch d’AILLY (2004) fand einen Zusammenhang zwischen Selbstwirksamkeit und Interesse im Kontext von Wahlfreiheit.

Wahlfreiheit gilt als positiver Prädiktor für Selbsteinschätzungen (DECI & RYAN, 2003), wozu das Selbstkonzept gehört. Durch die Möglichkeit, eigene Entscheidungen über ihren Lernprozess zu treffen und eigenständig zu arbeiten, gewinnen Schüler*innen Vertrauen in ihre eigenen Fähigkeiten (NOVAK, 2016). Dieses gestärkte Selbstvertrauen kann zu einem positiven physikbezogene Selbstkonzept sowie zu einer positiven Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren führen.

Wahlfreiheit und Unterrichtsbedingungen

FLUNGER et al. (2019) verglichen in ihrer Studie eine autonomieunterstützende Unterrichtseinheit mit Wahlmöglichkeiten (Interventionsgruppe) mit einer Regelunterrichtseinheit (Kontrollgruppe) zum gleichen Thema im Physikunterricht. Sie fanden mittlere positive Effekte der Interventionsbedingung mit Wahlmöglichkeiten im Vergleich zur Kontrollbedingung auf die Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen.⁹

PATALL et al. (2010) zeigten darüber hinaus, dass die Bereitstellung von Wahlmöglichkeiten sich positiv auf die Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen (vor allem die wahrgenommene Autonomieunterstützung) auswirkt.

2.4.1 Bedingungen der Wahl

Neben der reinen Wahlmöglichkeit scheint die Art und Weise der Wahlmöglichkeiten einen Einfluss zu haben. PATALL et al. (2008) untersuchten in ihrer Metaanalyse 41 Studien zur Wahlmöglichkeit und fanden Effekte verschiedener Arten von Wahlmöglichkeiten auf Motivation. So zeigten u.a. für den Unterricht irrelevante Wahlmöglichkeiten, eine begrenzte Anzahl an Wahlmöglichkeiten und Wahlfreiheit ohne Belohnung den stärksten positiven Effekt auf die intrinsische Motivation.

MEYER-AHRENS und WILDE (2013) variierten in ihrer Studie die Interessantheit der Wahlangebote (unterschiedliche interessante Optionen, ähnlich uninteressante Optionen und eine interessante Option mit keiner Wahlmöglichkeit) und fanden, dass eine Wahl aus Themen unterschiedlicher Interessantheit die intrinsische Motivation am stärksten förderte. Überraschenderweise schnitt die Option ohne Wahl besser ab als die Wahl aus uninteressanten Optionen. Zumindest bei der Themenwahl scheint die wahrgenommene Interessantheit des Lerngegenstandes wichtiger zu sein als das Angebot von Wahlmöglichkeiten.

KATZ und ASSOR (2007) fanden, dass Wahlfreiheit motivierend wirkt, wenn die bereitgestellten Optionen relevant erscheinen in Bezug auf die Interessen

9 Die Autoren bezeichnen die Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen als „Relatedness with the teacher“ und „Relatedness with classmates“. Die Items dieser Skalen ähneln der in dieser Arbeit verwendeten Skala „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“, siehe Abschnitt 6.1.2.

und Ziele der Schüler*innen (Identifikation), die Optionen nicht zu zahlreich oder zu komplex sind sowie mit den Werten der Schüler*innenkultur übereinstimmen. Der Prozess des Wählens an sich (als Aktivität des Aussuchens) wirkt allerdings nicht motivierend (KATZ & ASSOR, 2007; WILDE et al., 2018). Darüber hinaus ist die Art der Abstimmungsform der Wahl (Mehrheits- oder Einzelabstimmung) laut MEYER et al. (2019) von Bedeutung.

2.4.2 Choice Overload

„Choice Overload“ resultiert aus der Last der Verantwortung, eine optimale Wahl zu treffen, wenn aus Schüler*innensicht falsche Wahlmöglichkeiten existieren (WILDE et al., 2018). Nach der Choice-Overload-Hypothese kann somit ein hohes Maß an Wahlfreiheiten zu Überforderung führen (SCHWARTZ, 2000), was in Demotivation resultiert (IYENGAR & LEPPER, 2000). Auch HATTIE (2010) stellte fest, dass zu viele Wahlmöglichkeiten überfordern können. RYAN und DECI (2006) entgegneten dieser Kritik, dass die Anzahl an Optionen nicht relevant sei, aber dafür die (wahrgenommene) Bedeutsamkeit dieser Optionen. Um Überforderung zu vermeiden, wird insgesamt das Angebot von drei bis fünf Wahlmöglichkeiten empfohlen (PATALL et al., 2008).

Auch beeinflusst nicht nur die Anzahl oder Sinnhaftigkeit der Optionen die Effekte von Wahlfreiheit, sondern auch Personenmerkmale der „Wählenden“. REED et al. (2012) zeigten zum Beispiel, dass Personen mit geringer Selbstwirksamkeitserwartung sich weniger Wahlmöglichkeiten wünschen. Auch PATALL et al. (2014) fanden, dass die wahrgenommene Kompetenz Einfluss auf den Erfolg von Wahlfreiheit hat. Personen, die sich bei einer bevorstehenden Aufgabe weniger kompetent fühlen, sind weniger geneigt, eine Wahl zu treffen, und motivierter, wenn sie nicht die Möglichkeit haben zu wählen.

2.5 Zusammenhang der Konstrukte

Anhand der theoretischen Grundlagen zu Motivation und Interesse lassen sich Zusammenhänge zwischen den untersuchten Konstrukten identifizieren. Diese sind in Abb. 2.3 graphisch dargestellt.

Wahlfreiheit wirkt sich auf die wahrgenommene Autonomieunterstützung (FLUNGER et al., 2019; NIEMIEC & RYAN, 2009; PATALL et al., 2010; SEIDEL et al., 2006) sowie gemäß der Selbstbestimmungstheorie (DECI & RYAN, 1985, 2002b; SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020) auf die intrinsische Motivation aus (Übersicht über die Studienlage ist u.a. bei PATALL et al. (2008) zu finden).

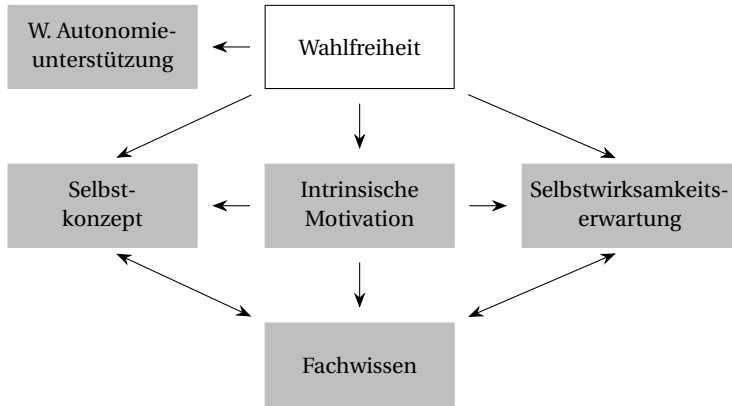


Abbildung 2.3: Zusammenhang der untersuchten Konstrukte.

Auch zeigen sich positive Effekte auf das Selbstkonzept (DECI & RYAN, 2003) und die Selbstwirksamkeitserwartung (FLUNGER et al., 2019; TILFARLIOGLU & CIFTCI, 2011). Die intrinsische Motivation wirkt sich zudem auf das Fachwissen (SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020), die Selbstwirksamkeit und das Selbstkonzept (KÖRNER & IHRINGER, 2016) aus. Das Fachwissen wiederum hängt sowohl mit dem Selbstkonzept (HANSFORD & HATTIE, 1982) als auch mit der Selbstwirksamkeitserwartung (KÖLLER & MÖLLER, 2010; ZIMMERMAN, 2000) zusammen.

Die Zusammenhänge, die in der Literatur gefunden wurden, sind in Abb. 2.3 mit Pfeilen (Kausalzusammenhang) oder Doppelpfeilen (wechselseitiger Zusammenhang) gekennzeichnet.

Kapitel 3

Fachliche Grundlagen

Die vorliegende Arbeit evaluiert ein Konzept (siehe Abschnitt 4.1), das Experimentierphasen inklusiv durch den Einsatz von Wahlmöglichkeiten gestalten möchte. Dafür wurde es für das Beispiel¹⁰ „Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit von transparenten Objekten“ aus der geometrischen Optik in Form einer Unterrichtseinheit ausgestaltet. Bevor im nächsten Kapitel das Konzept und die Einheit im Detail vorgestellt werden, behandelt dieses Kapitel die Klärung der fachlichen Grundlagen der geometrischen Optik und die physikalische Erläuterung der Sichtbarkeit bzw. Unsichtbarkeit anhand von Lichtbrechung und Reflexion.

3.1 Reflexion und Brechung von Licht in der geometrischen Optik

Die geometrische Optik oder auch Strahlenoptik beschäftigt sich als Näherungsmodell der Wellenoptik¹¹ mit Phänomenen wie Reflexion, Brechung und Linsenabbildungen (GIANCOLI, 2006) und ist eines der wesentlichen Gebiete des Physikunterrichts. Innerhalb der klassischen Optik im Physikunterricht der Sekundarstufe I wird die geometrische Optik und die Wellenoptik unterschieden (HAAGEN-SCHÜTZENHÖFER & WILHELM, 2021).

Die geometrische Optik kann als Grenzfall der Wellenoptik optische Phänomene beschreiben, wenn die Lichtwellenlänge klein gegenüber den Dimensionen der Elemente eines optischen Systems ist. Dabei werden Beugungs-

¹⁰ In den folgenden Kapiteln als Kontext bezeichnet.

¹¹ In der Wellenoptik wird das Verhalten von Licht über seine Welleneigenschaften beschrieben.

und Interferenzeffekte vernachlässigt (GIANCOLI, 2006). In der geometrischen Optik werden sich kontinuierlich überlappende Kugelwellen, die durch eine Vielzahl von Punktlichtquellen ausgesendet werden, durch Lichtstrahlen approximiert, die in Ausbreitungsrichtung des Lichtes geradlinig verlaufen. Diese Definition baut auf dem Huygens'schen Prinzip auf, nach dem jeder Punkt der Phasenfläche einer Welle Ausgangspunkt einer Kugelwelle ist. Ein Lichtstrahl ist die Normale zu den Phasenflächen einer Welle und zeigt die Ausbreitungsrichtung an (DEMTRÖDER, 2017). Lichtstrahlen sind somit als eine Modellvorstellung für die Lichtausbreitung anzusehen. Innerhalb dieser Modellvorstellung wird ein Lichtstrahl als der Weg betrachtet, auf dem sich Lichtenergie von einem Punkt eines optischen Systems zum nächsten Punkt ausbreitet (PEDROTTI, 2005). In diesem Zusammenhang wird in der geometrischen Optik auch von Lichtwegen gesprochen (ERB, 2016), um die Vorstellung von Lichtstrahlen als schmale Lichtbündel zu vermeiden. In der geometrischen Optik gelten folgende Regeln (DEMTRÖDER, 2017):

- Lichtstrahlen sind Geraden in einem optisch homogenen Medium,
- Licht verschiedener Quellen, welches sich durchdringt, beeinflusst sich nicht,
- an Grenzflächen zwischen zwei Medien gelten das Reflexionsgesetz (3.1) und das Snellius'sche Brechungsgesetz (3.3).

Reflexion und Lichtbrechung stellen grundlegende Phänomene der Optik dar, die das Verhalten von Licht an Grenzflächen zwischen zwei Medien beschreiben. Trifft Licht auf eine Grenzfläche zwischen zwei Medien, in denen das Licht eine unterschiedliche Geschwindigkeit hat, so wird ein Teil des Lichtes an der Grenzfläche reflektiert, und ein Teil wird transmittiert und tritt unter Änderung der Ausbreitungsrichtung in das zweite Medium ein, was wir als Brechung bezeichnen (DEMTRÖDER, 2021; TIPLER, 2004).¹² Reflexion und Lichtbrechung sind somit zwei Phänomene, die gleichzeitig auftreten.

Reflexion beschreibt in der geometrischen Optik das Phänomen, bei dem ein Lichtstrahl an einer Grenzfläche zwischen zwei Medien reflektiert bzw. zurückgeworfen wird. Der Lichtstrahl ändert seine Richtung. Dabei entspricht

¹² Ein Teil des Lichtes wird zusätzlich absorbiert. Dies kann jedoch in diesem Kontext vernachlässigt werden.

nach dem Reflexionsgesetz der Einfallswinkels α_e dem Reflexionswinkel α_r , d.h.,

$$\alpha_e = \alpha_r. \quad (3.1)$$

Der Anteil des Lichtes, der reflektiert und nicht transmittiert wird, lässt sich mithilfe der Wellenoptik beschreiben und hängt vom Einfallswinkel α_e , von der Orientierung des elektrischen Feldes der (Licht-)Welle und von den Lichtgeschwindigkeiten in den beiden Medien ab (TIPLER, 2004).

Lichtbrechung tritt auf, wenn Lichtstrahlen beim Übergang von einem in ein anderes transparentes Medium ihre Ausbreitungsrichtung ändern, da Licht in verschiedenen Medien bedingt durch deren unterschiedliche Brechungsindizes unterschiedlich schnell ist. Gemäß dem Snellius'schen Brechungsgesetz wird der Lichtstrahl beim Eintritt in das Medium unter einem Winkel gebrochen, der von den Brechungsindizes der beiden Medien abhängt. Wenn das Licht senkrecht auf die Grenzfläche zwischen den beiden Medien trifft, findet ausschließlich Reflexion und keine Ablenkung bzw. Brechung statt. Zur Beschreibung der Lichtbrechung kann jedem Medium eine Brechzahl (oder Brechungsindex) n zugeordnet werden, die die Lichtgeschwindigkeit in dem Medium charakterisiert. Für das Verhältnis der Brechzahlen n_1 und n_2 zweier Medien gilt dabei:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{c_2}{c_1}, \quad (3.2)$$

wobei c_1 und c_2 die Lichtgeschwindigkeiten in den jeweiligen Medien sind. Ein Medium mit einer höheren Brechzahl als ein anderes wird als optisch dichter bezeichnet (TIPLER, 2004).

Das Reflexionsgesetz und das Snellius'sche Brechungsgesetz lassen sich aus dem Fermat'schen Prinzip herleiten, welches besagt, dass sich Licht auf dem (kürzesten) Weg zwischen zwei Punkten ausbreitet, für den es die geringste Zeit benötigt (DEMTRÖDER, 2017; PEDROTTI, 2005).

3.2 Sichtbarkeit von transparenten Objekten

Der in der Studie eingesetzte Kontext (siehe Abschnitt 4.2) befasst sich mit dem „Unsichtbarwerden“ sog. Aquakugeln in Wasser (siehe Abb. 3.1). Aquakugeln sind farblose und klare (ugs.: durchsichtige) Kugeln aus dem Dekora-

tionsbedarf, die oftmals als feines Granulat verkauft werden. Die einzelnen Kugeln quellen in Flüssigkeiten wie Wasser auf und binden dabei große Mengen Wasser in ihrem Inneren (CHEN et al., 2022). Der Grund dafür ist, dass die Kugeln aus einem superabsorbierenden Polymer (SAP) bestehen. Wechselwirkungen zwischen den hydrophilen Gruppen innerhalb des SAPs und den Wassermolekülen führen dazu, dass sich die SAPs erheblich ausdehnen. Aufgrund der hohen absorbierten Wassermenge haben SAPs in wässriger Lösung eine wesentlich größere Masse und ein größeres Volumen als im Trockenzustand (SCHRÖFL, 2021). Die Wasseraufnahmekapazität ist jedoch nicht unbegrenzt, da sich das Polymer schließlich im Medium zersetzen kann (ARPIT & JAYA, 2023).

Durch das Binden von Wasser in ihrem Inneren, weisen Aquakugeln ähnliche optische Eigenschaften wie Wasser auf. Beispielsweise haben sie annähernd den gleichen Brechungsindex wie Wasser (MICHEL, 2019).

In optischen Medien, zu denen auch Aquakugeln gehören, setzt das Snellius'sche Brechungsgesetz

$$n_1 \sin(\alpha) = n_2 \sin(\beta) \quad (3.3)$$

den Eintrittswinkel α und Austrittswinkel β eines Lichtstrahls an einer Mediengrenze mit den Brechungsindizes der Medien n_1, n_2 in Verbindung. Im konkreten Fall der Aquakugeln wäre nun $n_1 = n_{\text{Wasser}}$ der Brechungsindex des Wassers und $n_2 = n_{\text{Aquakugeln}}$ der Brechungsindex der Aquakugeln. Es gilt

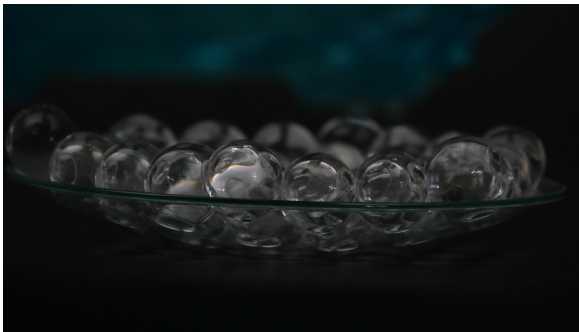


Abbildung 3.1: Aquakugeln in einer Schale.

jedoch $n_{\text{Aquakugeln}} \approx n_{\text{Wasser}} = 1,33$ und damit ergibt sich aus Gleichung (3.3) näherungsweise $\alpha \approx \beta$. Dies bedeutet, dass das transmittierte Licht näherungsweise ungebrochen ist.

Der Anteil des reflektierten Lichts wird über die sogenannte Reflektivität R (Reflexionsgrad) bestimmt, welche sich über das arithmetische Mittel der Reflektivität der senkrecht polarisierten Komponente R_s und parallel polarisierten Komponente R_p berechnet (PEDROTTI, 2005), d.h.,

$$R = \frac{R_s + R_p}{2}. \quad (3.4)$$

Für die Reflektivitäten dieser Komponenten folgt aus den Fresnel-Formeln (DEMTRODER, 2017)

$$R_s = \left(\frac{n_1 \cos(\alpha) - n_2 \cos(\beta)}{n_1 \cos(\alpha) + n_2 \cos(\beta)} \right)^2 \quad \text{und} \quad R_p = \left(\frac{n_2 \cos(\alpha) - n_1 \cos(\beta)}{n_2 \cos(\alpha) + n_1 \cos(\beta)} \right)^2. \quad (3.5)$$

Mit $n_1 \approx n_2$ und $\alpha \approx \beta$ aus dem Snelliuschen Brechungsgesetz folgt nun direkt $R_s = R_p \approx 0$ und somit $R \approx 0$. Mithilfe der Energieströmbilanz an einer Grenzfläche (NOLTING, 2011)

$$T + R = 1 \quad (3.6)$$

ist nun offensichtlich, dass die Transmission ungefähr 1 ist, d.h., näherungsweise wird das gesamte einfallende Licht ungebrochen transmittiert.

Im Kontext der Aquakugeln in Wasser bedeutet diese näherungsweise vollständige Transmission, dass die Aquakugeln unsichtbar erscheinen.

Kapitel 4

Konzeption des Treatments

Dieses Kapitel enthält Abschnitte, die der Argumentation bereits publizierter Beiträge folgen, vergleiche dazu SÜHRIG et al. (2020, 2021b, 2021c, 2023a, 2023b).

Aus den theoretischen Grundlagen (Kapitel 2) lässt sich ableiten, dass Schüler*innenexperimente eine wesentliche Rolle im Physikunterricht spielen und mit vielfältigen Zielen verbunden sind. Des Weiteren erfordert ein inklusiver Physikunterricht, dass der Unterricht den Bedürfnissen einer heterogenen Lerngruppe Genüge leisten muss. Um Schüler*innenexperimentierphasen an die Bedürfnisse unterschiedlicher Lernender anzupassen, sind daher Adaptionen notwendig. Ein vielversprechender Ansatz ist der Einsatz von Wahlmöglichkeiten, der in anderen Unterrichtskontexten bereits positive Effekte gezeigt hat (siehe Abschnitt 2.4). Durch die Implementierung von Wahlfreiheit in Experimentierphasen wird sich eine bessere Passung von Lerngegenstand und Lernendem erhofft, da Schüler*innen basierend auf individuellen Interessen, Fähigkeiten, Vorwissen und Vorlieben selbst wählen können, welche Experimente sie bearbeiten möchten. Durch diese Flexibilität und Adaptivität kann eine inklusive Lernumgebung geschaffen werden, die den unterschiedlichen Bedürfnissen der Lernenden gerecht wird.

Um Rahmenbedingungen für die erfolgreiche Integration von Wahlfreiheit in Schüler*innenexperimentierphasen zu schaffen, wurde basierend auf dieser Idee ein Unterrichtskonzept entwickelt. Ziel dieses Konzeptes ist,

Lehrkräften eine neuartige Möglichkeit für die Gestaltung von Experimentierunterricht anzubieten, der die vielfältigen Bedürfnisse von inklusiven Lerngruppen anerkennt und eine größtmögliche Partizipation erreichen möchte.

Dieses Kapitel stellt das Unterrichtskonzept für die Gestaltung inklusiver Experimentierphasen sowie die darauf basierende Unterrichtseinheit, die in der Pilotierung (Kapitel 7) und in der Hauptstudie (Kapitel 8) evaluiert wurde, vor.

4.1 Entwicklung des Unterrichtskonzepts

In der vorhandenen Literatur existieren bereits zahlreiche Ideen und Ansätze zum Design von Experimentiermaterialien und Rahmenbedingungen für inklusive Klassen (siehe zum Beispiel TÜRCK et al. (2018) und KLAUTKE und THEYSSEN (2021)), jedoch fehlen konkrete Vorschläge zur Gestaltung inklusiver Experimentierphasen. Im Folgenden werden relevante Aspekte eines Konzeptes für inklusive Experimentierphasen aus der Literatur abgeleitet und das darauf aufbauende Konzept erläutert.

4.1.1 Kontextorientierung

Um sinnstiftende Lerngelegenheiten für alle Schüler*innen zu schaffen, bietet sich es an, Unterricht von einem Kontext aus zu denken und zu planen (DOPATKA et al., 2021). Wenngleich sich alltägliche Kontexte beim Experimentieren als weniger lernwirksam erwiesen haben (MILLAR, 2010), ermöglichen sie eine stärkere Ausrichtung des Unterrichts auf die Lebenswelt der Lernenden, fördern das Lernen an konkreten Beispielen und machen damit den Lerngegenstand zugänglich für die Lernenden (ABELS & HÜFNER, 2022). Der Begriff „Kontext“ bezieht sich auf die soziale, kulturelle und gesellschaftliche Umgebung und besteht aus zwei wesentlichen Komponenten: einem inhaltlichen Aspekt durch die Einbindung in alltägliche, authentische und gesellschaftlich relevante Zusammenhänge, sowie einen unterrichtsmethodischen Aspekt, der die Gestaltung einer lernförderlichen Umgebung einschließt (KUHN et al., 2010). Damit Kontexte unterrichtlich effektiv sind, müssen sie zwei Kriterien erfüllen. Zum einen sollen sie von Schüler*innen als authentisch empfunden werden, sei es durch ihre Besonderheit oder Alltagsrelevanz (van VORST et al., 2013). Zum anderen sollen sie von den Schüler*innen als relevant wahrgenommen werden (FERREIRA GONZALES et al., 2021). Insbesondere im Hinblick auf Schüler*innenexperimente, vor allem in offeneren Formen des

experimentellen Arbeitens, wird eine Einbettung in sinnstiftende Kontexte nach GIRWIDZ (2020) empfohlen.

Im Zentrum des Konzeptes steht daher ein Kontext, zu welchem experimentiert wird, anstelle eines Themas aus dem Physikunterricht. Das bedeutet nicht, dass die Inhalte, die in den Experimenten vermittelt werden, sich nicht auf physikalische Themengebiete zurückführen lassen. Der Grundgedanke ist vielmehr, dass physikalische Inhalte anhand eines konkreten Kontextes erworben werden und eine Verallgemeinerung in Gesetzmäßigkeiten erst im Anschluss erfolgt. Dies entspricht nach ABELS und HÜFNER (2022) einem Kontextverständnis von „Kontext als Thema“.

Eindrucksvolle physikalische Phänomene können in einem inklusiven Physikunterricht geeignete Kontexte darstellen (HÖFT et al., 2019; STINKEN-RÖSNER et al., 2020), da sie sowohl motivierend und authentisch wirken (GÜTH & VAN VORST, 2024) als sich auch unterschiedlichen Wahrnehmungen, wie beispielsweise Sehen oder Fühlen, bedienen (HOFFMANN & MENTHE, 2015).

4.1.2 Wahlfreiheit

Im Kontext von inklusivem Unterricht wird oftmals Individualisierung gefordert, jedoch muss damit nicht zwangsläufig Einzelarbeit verbunden sein. Unter Individualisierung wird auch das Ziel einer möglichst umfassenden Wahlfreiheit und Autonomie verstanden (BOHL & WACKER, 2021). Zur Förderung von intrinsischer Lernmotivation und schulischen Interessen ist die Erfüllung der Grundbedürfnisse nach Kompetenzerleben, Selbstbestimmung und sozialer Eingebundenheit (siehe Abschnitt 2.3.2) unabdingbar (DECI & RYAN, 1985; SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020). Zur Förderung der Kompetenzwahrnehmung empfehlen SCHIEFELE und SCHAFFNER (2020) die Unterstützung aktiver Beteiligung und Implementation lebenspraktischer Anwendungen durch den kognitiv und physisch aktiven Umgang mit realen und lebensnahen Materialien wie beim selbstständigen Experimentieren. Selbstbestimmung und damit intrinsische Motivation kann dabei durch das Angebot von Handlungsspielräumen und Wahlmöglichkeiten gefördert werden, wenn Schüler*innen zum Beispiel bei der Auswahl des Lernstoffs mitbestimmen oder selbst Entscheidungen treffen (SCHIEFELE & SCHAFFNER, 2020).

Wahlangebote werden auch als Form von Differenzierung gesehen (KRÜGER & MEYFARTH, 2009).

Durch den Einsatz von Wahlmöglichkeiten innerhalb des Konzeptes werden daher positive Auswirkungen auf kognitive (Fachwissen) und motivational-affektive Schüler*innenmerkmale (zum Beispiel intrinsische Motivation) erwartet (siehe dazu auch Abschnitt 2.4). Es soll daher in der Experimentierphase die Wahl zwischen verschiedenen Experimentierformen angeboten werden.

4.1.3 Verschiedene Experimentierformen

Heterogenität kann über eine Differenzierung der Materialien und Methoden begegnet werden. Zu der Gestaltung inklusiver (Experimentier-)materialien existieren bereits verschiedene Ansätze (siehe oben). Für den inklusiven Unterricht ist indessen auch Methodenvielfalt zentral, um auf verschiedene Lerntypen einzugehen (MAYR, 2021). THURN (2021) fordert in diesem Kontext die Aufarbeitung fachlicher Inhalte mit Berücksichtigung individueller Voraussetzungen, verschiedener Zugänge und individueller Interessen. GIRWIDZ (2020) empfiehlt das Angebot verschiedener Darstellungsformen beim Experimentieren. Vereint man diese Überlegungen, kann die Differenzierung der Methodik beim Experimentieren über den Einsatz verschiedener Experimentierformen realisiert werden. Verschiedene Formen von Experimenten erlauben einen höheren Grad an Adaptivität im Physikunterricht, da sie für mehr Individualisierung sorgen. Schüler*innen können so das Experiment durchführen, das sie für sich als besonders zugänglich empfinden. Somit wird der (Experimentier-)Unterricht stärker an die verschiedenen Bedürfnisse der Lernenden angepasst.

Innerhalb des Konzeptes wird eine Auswahl von fünf Experimentierformen angeboten. Die Experimentierformen (Überblick in Abb. 4.1) sollen unterschiedliche Zugänge zu dem Kontext darstellen und enthalten sowohl „klassische“, digitale und spielerische Formen des Experimentierens, die möglichst vielen Interessen und Vorlieben gerecht werden. Analogieexperimente¹³ stellen eine weitere Experimentierform dar, die nicht Teil des Konzeptes ist, da

¹³ Analogieexperimente wie die Beugung von Wasserwellen in der Wellenwanne schaffen eine Nachbildung von Phänomenen und stellen eine Alternative zu Realexperimenten dar (FRIEGE, 2019).

der Fokus des Konzeptes primär auf der Sekundarstufe I liegt. Eine Anpassung und Erweiterung des Konzeptes für die Oberstufe mit Aufnahme dieser Experimentierform ist jedoch vorstellbar.

Die Experimentierformen werden als gleichwertig zur Erschließung des Kontextes und somit zum Erreichen des Lernziels betrachtet. WINKELMANN (2015) konnte zeigen, dass sich verschiedene Experimentiersituationen (angeleitete und offene Schüler*innenexperimente) in ihrem Einfluss auf den Fachwissenszuwachs und affektive Schüler*innenmerkmale nicht signifikant unterscheiden. Wiederum untersuchte STOLZ (2018) den Einfluss des Öffnungsgrades verschiedener Experimentiersituationen auf Leistung und Motivation. Der Öffnungsgrad sowie die Experimentierform (Realexperiment oder Simulationsexperiment) haben dabei keine Auswirkung auf den Lernzuwachs gezeigt.¹⁴

4.1.4 Konzept

Das Konzept (Abb. 4.1) kombiniert fünf (gleichwertige) Experimentierformen zu einem gemeinsamen Kontext. Die Lernenden können aus diesem Angebot zur weiteren Erforschung des Kontextes in der Experimentierphase wählen. Ziel ist das Verständnis des Kontextes auf verschiedenen Ebenen. Die fünf Experimentierformen werden in Abschnitt 4.3 ausführlich dargestellt.

Um Experimentierphasen, die nach dem Konzept gestaltet sind, in einen Unterricht einzubinden, wurde ebenfalls ein Vorschlag für eine Unterrichtseinheit gemacht (siehe auch Abschnitt 4.4). Diese besteht, wie in Abb. 4.2 dargestellt, aus einer Instruktions-, Experimentier- und Sicherungsphase. Instruktions- und Sicherungsphase rahmen das Experimentieren und finden lehrkraftgesteuert im Plenum statt. Das Experimentieren ist allerdings schüler*innenzentriert. Dieser methodisch variable Unterricht, der individualisierende und gemeinsame Phasen enthält, jedoch insgesamt von der Lehrkraft gesteuert wird, wird nach BOHL und WACKER (2021) auch als adaptiver Unterricht bezeichnet.

¹⁴ Jedoch wurde ein Einfluss des Öffnungsgrades und die Art der Experimentiersituation auf die Motivation festgestellt. Bei niedrigem Öffnungsgrad und bei realen Experimenten sind die Schüler*innen motivierter. Es ist daher möglich, dass sich Gruppenunterschiede in Bezug auf Motivation nicht allein auf das Angebot von Wahlmöglichkeiten zurückführen lassen.

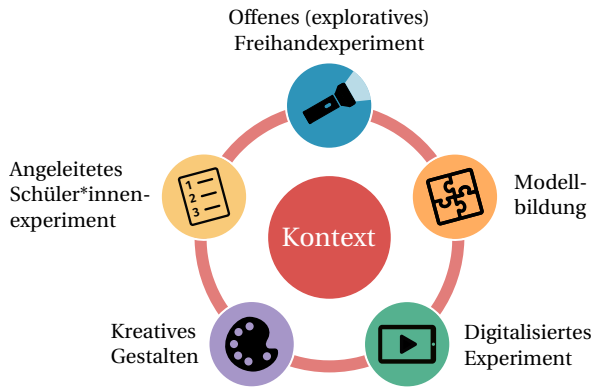


Abbildung 4.1: Unterrichtskonzept für inklusive Experimentierphasen.

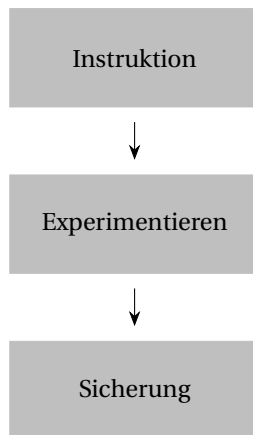


Abbildung 4.2: Ablauf der Unterrichtseinheit.

Vor der Experimentierphase findet eine Instruktionsphase statt. Ziel der Instruktionsphase ist die Einführung in den Kontext, das Sammeln von Hypothesen dazu und das Vorstellen der Experimente der Experimentierphase. Da Schüler*innen mit wenig Vorwissen Probleme mit selbstständigem Lernen haben (BOHL & WACKER, 2021), sind Instruktionsphasen und Transparenz im Unterrichtsablauf unabdingbar. Offenere Unterrichtsformen wie das selbstständige Experimentieren sind ohne begleitende Unterstützung weniger effektiv als mit Instruktion (ALFIERI et al., 2011). Die Instruktionsphase dient nicht nur zum Einführen des Kontextes, sondern soll die Schüler*innen zum Denken anregen bevor sie Beobachtungen machen, damit die Experimente dahingehend effektiver sind, die gewünschten Lernziele zu erreichen (MILLAR, 2004). Schüler*innenexperimente sind in der Lage, Lernende mit ihren Fehlvorstellungen zu konfrontieren, jedoch nur, wenn diese im Vorfeld zum Experimentieren hervorgebracht werden (MILLAR, 2004). Dies geschieht in der Instruktionsphase durch das Verbalisieren der Hypothesen durch die Schüler*innen und das Festhalten dieser in einer Art Mind-Map durch die Lehrkraft. Die Hypothesen sollen anschließend in der Experimentierphase geprüft werden. Dieses Vorgehen ist inspiriert von der „predict-observe-explain“-Struktur von WHITE und GUNSTONE (2014). Diese sieht vor, dass Schüler*innen zunächst Vorhersagen treffen, Beobachtungen machen und diese Beobachtungen erklären, indem sie Konflikte zwischen Vorhersagen und Beobachtungen in Einklang bringen. Um Hypothesen widerlegen oder bestätigen zu können, müssen die Experimente jedoch dahingehend gestaltet werden, dass sie dies auch ermöglichen (MILLAR, 2004).

Auch das Zusammenführen der individuellen Prozesse ist eine wichtige Frage. Eine Möglichkeit zur Realisierung ist eine abschließende Plenumsphase, in der die einzelnen Arbeitsergebnisse gebündelt und in ein gemeinsames Produkt überführt werden. In dieser Phase findet daher zunächst ein Rückbezug auf die Anfangshypothesen statt und es wird eine Diskussion der Hypothesen mit dem Ziel der Erklärung des Kontextes geführt.

4.2 Gewählter Kontext

Für die vorliegende Studie wurde der Kontext „Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit“ gewählt, da dieser als eindrucksvolles Phänomen motivierend und authentisch wirken soll (siehe Abschnitt 4.1.1). Dieser behandelt das Phäno-

men, dass Aquakugeln (aus dem Dekorationsbedarf) vermeintlich in Wasser verschwinden. In Wasser findet an ihnen keine Lichtbrechung und Reflexion mehr statt und sie erscheinen unsichtbar. Das liegt darin begründet, dass Wasser und Aquakugeln durch den hohen Wasseranteil der Kugeln denselben Brechungsindex haben und dadurch keine optische Grenzfläche mehr vorliegt. Eine detaillierte physikalische Erklärung des Phänomens ist in Abschnitt 3.2 zu finden.

Das Lernziel des Kontextes ist, auf verschiedenen Niveaustufen festzustellen, warum die Aquakugeln unsichtbar werden.

4.3 Entwicklung der Experimente

Im Folgenden werden die in der Experimentierphase eingesetzten Experimente näher vorgestellt und beschrieben.

4.3.1 Offenes Freihandexperiment

Beim „Offenen Freihandexperiment“ arbeiten Schüler*innen unter einer eigenen Fragestellung mit bekannten Materialien. Eine höhere kognitive Aktivierung kann beim Experimentieren durch die Verwendung von bekannten Materialien erreicht werden: „Students can be more effectively ‘minds on’ as well as ‘hands on’ when they feel they understand how the equipment they are using works.“ (MILLAR, 2004, S. 14). Freihandexperimente sind qualitativer Natur, ohne großes Experimentiergeschick durchführbar und verwenden Materialien aus der Alltagswelt (KIRCHER & GIRWIDZ, 2020). Zudem werden meist wenig Geräte eingesetzt, um das Wesentliche im Experiment in den Fokus nehmen zu können (GIRWIDZ, 2020). Für Freihandexperimente werden Alltags- sowie Haushaltsgegenstände oder einfache Lehrmittel verwendet (RASCHKE, 2006).

Der Begriff des offenen Experimentierens wird in der Literatur sehr unterschiedlich beschrieben (PRIEMER, 2011). Offene Experimentierformen lassen sich anhand ihres Öffnungsgrades unterscheiden: offen, geöffnet oder leicht geöffnet (BAUR et al., 2020). In der komplett offenen („Open Inquiry“) Form werden alle Teilprozesse des Experimentierprozesses inklusive des Bildens einer Fragestellung von den Schüler*innen eigenständig durchgeführt, bei der geöffneten Form („Guided Inquiry“) wird beispielsweise die Frage oder Hypothesen von der Lehrkraft vorbestimmt (BAUR et al., 2020). Die leicht geöffnete Form („Structured Inquiry“) gibt nach BELL et al. (2005) die Frage

und das Vorgehen bzw. die Methoden vor. Da nach wörtlicher Auffassung des Begriffes das geschlossene Experimentieren nicht zu den Formen bzw. Öffnungsgraden des offenen Experimentierens zählt, wird es beispielsweise von BAUR et al. (2020) oder von BELL et al. (2005) als „Confirmation Inquiry“ aufgeführt. Dieser Offenheitsgrad ist innerhalb des Konzeptes (siehe Abschnitt 4.1) in der Experimentierform „Angeleitetes Schüler*innenexperiment“ (siehe Abschnitt 4.3.5) zu finden. PRIEMER (2011) unterscheidet sechs Dimensionen der Offenheit einer Experimentieraufgabe (Fachinhalt, Strategie, Methode, Lösungen und Lösungswege sowie Phasen des Experimentierens), die sich jeweils unterschiedlich stark öffnen lassen. Andere Autoren wie MAYER und ZIEMEK (2006, zitiert nach BAUR et al., 2020) differenzieren Offenheitsgrade lediglich anhand verschiedener Teilschritte bzw. Phasen des Experimentierens (Fragestellung, Planung, Durchführung, Auswertung und Interpretation). Das offene Experimentieren gilt laut BAUR et al. (2020) als die zu erstrebende Form des Experimentierens, wenngleich die Autoren einräumen, dass diese oft im Konflikt mit der Unterrichtspraxis steht, da Materialien bereitgestellt werden müssen.

In der Intervention wurde den Schüler*innen bei dem „Offenen Freihandexperiment“ verschiedene Materialien (Aquakugeln, Petrischalen, Wasser und Musterunterlagen) durch eine Vorselektion (PRIEMER, 2011) zur Verfügung gestellt, damit diese die Aquakugeln unter einer eigenen Fragestellung näher untersuchen können. Dabei wurde angeboten, dass die Lehrkraft weitere Materialien aus der Physiksammlung bereit stellt. Die zugehörige Experimentieranleitung (im Anhang C.2.1) gibt keine Schritte im Experimentierprozess vor, regt jedoch an, eine Fragestellung zu formulieren, das Vorgehen zu planen und den Experimentierprozess bestehend aus Frage, Durchführung, Beobachtung und Auswertung zu dokumentieren. Da das offene Experimentieren erst angeleitet und eingeübt werden muss (BAUR et al., 2020; PRIEMER, 2011), ist in dieser Arbeit das „Offene Freihandexperiment“ vielmehr als eine Gelegenheit zum Ausprobieren zu verstehen. Es dient daher, Neugier zu wecken und weniger Experimentierkompetenzen zu fördern. Insbesondere Freihandexperimente sind dabei für ein exploratives Vorgehen geeignet, da durch die Bereitstellung bekannter Materialien oder unkomplizierter Experimentaufbauten die Hemmschwelle zum Ausprobieren niedrig ist.

4.3.2 Modellbildung

„Modellbildung“ beinhaltet die Arbeit an einem interaktiven, experimentierfähigen Modell bzw. Simulation, um darin Variablen zu verändern und die Auswirkung dieser Veränderung zu beobachten (ERB & TEICHREW, 2020; TEICHREW & ERB, 2022). Dynamische Modelle wie sie zum Beispiel mit der Geometrie-Software GeoGebra erzeugt werden können, gelten als experimentierfähig, da sie dazu imstande sind, das Verhalten eines zu untersuchenden Systems innerhalb der Modellgrenzen zu simulieren (TEICHREW & ERB, 2022). Der Name „Modellbildung“ wurde gewählt, um eine gewisse Anschlussfähigkeit an die Arbeit von TEICHREW (2023) zu gewährleisten, der Name „Simulationsexperiment“ wäre jedoch ebenfalls denkbar.¹⁵ Relevant ist, dass eine Vereinfachung der Realität dahingehend stattfindet, dass nur die für das zu observierende Phänomen relevanten Aspekte gezeigt werden. Simulationen von Experimenten bieten für den Unterrichtseinsatz einige Vorteile. Sie sind kostengünstig sowie gefahrlos (GIRWIDZ, 2020) und weisen weniger „Störgeräusche“¹⁶ als Realexperimente auf. Bei Realexperimenten setzen sich die Lernenden gleichzeitig mit wissenschaftlichen Konzepten, der Handhabung des Experiments, der Planung und Durchführung von Handlungen sowie sozialen Interaktionen auseinander (MILLAR, 2010). FINKELSTEIN et al. (2005) vergleichen in einer Studie Simulationsexperimente mit Realexperimenten zu elektrischen Stromkreisen mit dem Ergebnis, dass die Studierenden, die die Simulation nutzten, ein besseres konzeptionelles Wissen aufweisen.

In der Unterrichtseinheit wurde ein GeoGebra-Modell einer Aquakugel eingesetzt, das in Abb. 4.3 als Screenshot zu sehen ist. Dieses konnten die Schüler*innen über einen QR-Code erreichen.

Das Modell enthält die Aquakugel als Kreis sowie eine verschiebbare Lichtquelle, von der aus ein Lichtweg, der durch die Aquakugel verläuft, nachvollzogen werden kann. Im Modell ist der Lichtweg von gebrochenem Licht und reflektiertem Licht zu sehen, worauf die Experimentieranleitung (im

15 Der Begriff „Modellbildung“ betont die in der Komplexität reduzierte Darstellung eines Phänomens auf dessen Kernaspekte, während „Simulation“ ein weites Spektrum von der Nachbildung eines komplexen Realexperimentes bis zu Teilbereichen eines Phänomens abdeckt.

16 Damit sind Einflussfaktoren wie zum Beispiel der Luftwiderstand bei Fallexperimenten gemeint, die in Idealisierungen meist außer Acht gelassen werden.

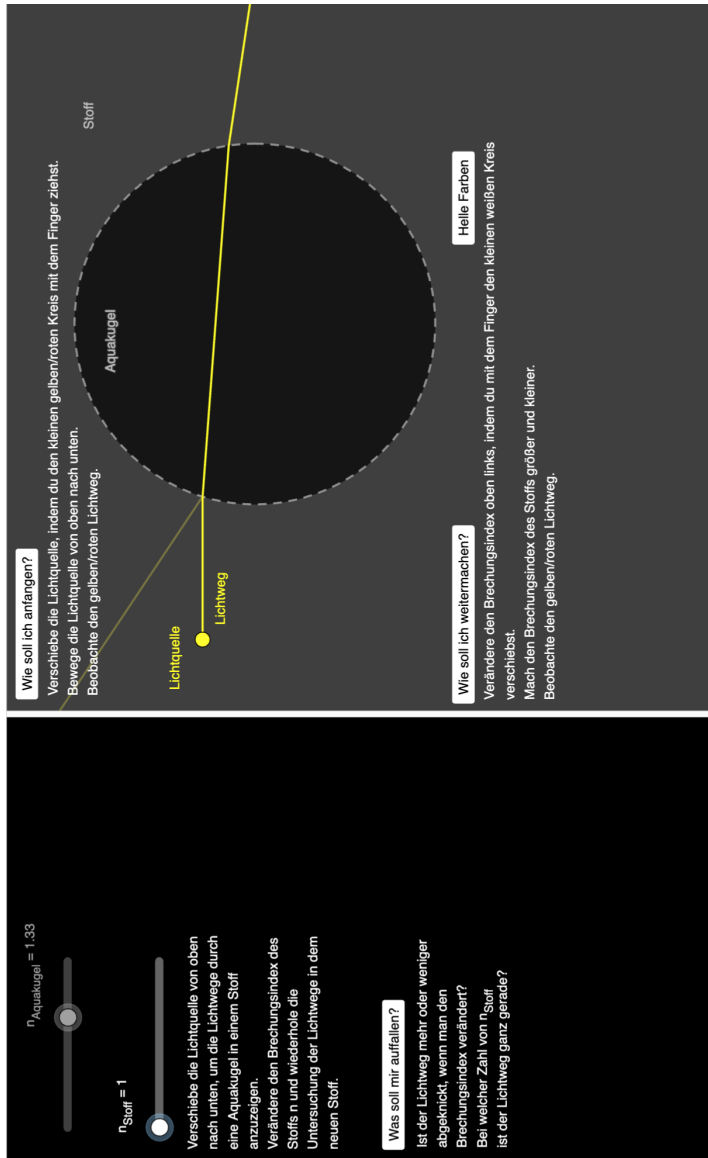


Abbildung 4.3: GeoGebra-Modell (Screenshot) einer Aquakugel.

Anhang C.2.1) hinweist. Mit einem Schieberegler lässt sich der Brechungsindex des umliegenden Stoffes verändern. Dabei passt sich auch die Farbe des Hintergrunds im Modell an. Je optisch dichter der Stoff eingestellt wird, desto dunkler wird der Hintergrund. Ist beim Stoff der gleiche Brechungsindex wie der der Aquakugel eingestellt, weist der Hintergrund den gleichen Farbton wie die Aquakugel auf. Eine kurze Experimentieranweisung ist im Modell auf der linken Seite unter dem Schieberegler zu finden. In dem Experiment soll der Brechungsindex des umliegenden Stoffes so verändert werden, dass der Lichtweg ungebrochen durch die Aquakugel geht. Das passiert, wenn mit dem Schieberegler der Brechungsindex der Aquakugel ($n = 1,33$) auch beim Brechungsindex des Stoffes eingestellt wird. Drei Hinweisbuttons („Wie soll ich anfangen?“, „Was soll mir auffallen?“, und „Wie soll ich weitermachen?“) geben Hinweise darauf, was an dem Modell verändert und beobachtet werden kann. Mit dem Button „Helle Farben“ lässt sich das Modell in hellen Farben anzeigen, wie in Abb. 4.4 zu sehen ist. Dabei ist der Hintergrund nicht mehr dunkel, sondern erscheint in hellen Grautönen und der Lichtweg ist rot dargestellt. Dieser Button wurde implementiert, um verschiedenen Lichtverhältnissen im Unterricht sowie unterschiedlichen Präferenzen der Lernenden (Hell- oder Dunkelmodus) nachzukommen. Die Experimentieranleitung im Anhang C.2.1 gibt Anweisungen und bebilderte Hinweise, was im Modell verändert und beobachtet werden kann.

4.3.3 Digitalisiertes Experiment

Ein „Digitalisiertes Experiment“ bezeichnet im Rahmen dieser Arbeit ein interaktives Experimentiervideo. Das Schauen von Videos wie beispielsweise auf der Plattform YouTube ist eine alltägliche Aktivität im Leben von Kindern und Jugendlichen, die jedoch oftmals passiv erlebt wird, auch wenn es sich um Lern- und Erklärvideos handelt. Interaktive Videos hingegen erlauben eine aktive Bearbeitung dieser (RICHTBERG & GIRWIDZ, 2019). Da Lernen eine aktive Auseinandersetzung mit dem jeweiligen Gegenstand voraussetzt (FREEMAN et al., 2014; MAYER, 2014; SCHNOTZ, 2019), ist der Einsatz *interaktiver* Videos für den Unterricht ein vielversprechender Ansatz. Videos können mit dem Creative-Commons-lizenzierten Tool H5P¹⁷ ohne Program-

¹⁷ Zu erreichen unter <https://h5p.org>.

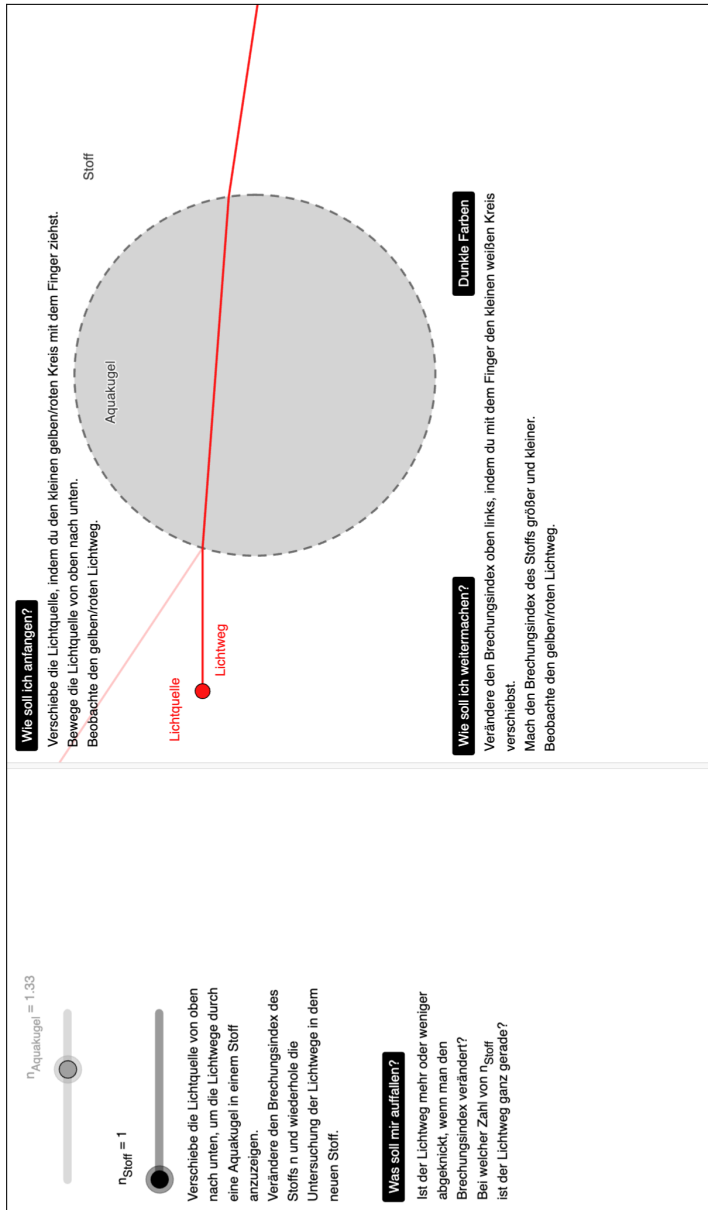


Abbildung 4.4: GeoGebra-Modell (Screenshot) einer Aquakugel mit hellen Farben.

mierkenntnisse (WATZKA et al., 2019) mit interaktiven Elementen wie Fragen, Textfeldern, Lückentexten und Aufgaben ergänzt werden. Darüber hinaus können individuelle Feedbackoptionen in das Video eingebaut werden, wie beispielsweise das Einblenden einer Lösung oder das Springen zu einer bestimmten Stelle im Video (RICHTBERG & GIRWIDZ, 2019). Nach HATTIE (2010) gehört Feedback zu den stärksten Einflüssen auf Schüler*innenleistung.

Videos von Experimenten können mit dem Tool H5P interaktiv gestaltet werden, sodass Schüler*innen daran virtuell experimentieren können (GLATZ et al., 2021a). Ein Experimentiervideo verbindet somit Experimentieren mit Videographie, indem der Ablauf eines Experiments oder mehrerer zusammengehöriger (Teil-)Experimente auf Video aufgenommen und mit interaktiven Funktionen angereichert wird (STINKEN-RÖSNER & MEIER, 2023). Experimentiervideos ermöglichen eine selbstständige Bearbeitung des Experiments im eigenen Tempo, wobei durch die interaktiven Elemente der Fokus auf die lernrelevanten Aspekte des Experiments gelenkt werden kann (GLATZ et al., 2021a). Auch kann das Video jederzeit pausiert werden (WATZKA et al., 2019). GLATZ et al. (2021b) ordnen den Komponenten eines Experimentiervideos fachdidaktische und -methodische Ziele sowie eine mögliche Umsetzung innerhalb der H5P-Funktionen zu. So können zusätzliche Hilfen zur Binnendifferenzierung durch Textfelder, Bilder oder Verweise umgesetzt werden. Durch Fragen kann das individuelle Vorwissen der Schüler*innen aktiviert werden (WATZKA et al., 2019).

In dem in der Intervention eingesetzten Experimentiervideo¹⁸ mit dem Titel „Das Material eines Stabes bestimmen“ (Screenshot in Abb. 4.5) wird ein durchsichtiger Stab nacheinander in verschiedene durchsichtige Flüssigkeiten getaucht, um das Material des Stabes zu bestimmen. Dieses Verfahren nutzt die optischen Eigenschaften des Stabes aus. Diese sogenannte Immersionsmethode kommt mitunter in der Edelsteinbestimmung zum Einsatz, um den Brechungsindex eines Edelsteins mithilfe von Flüssigkeiten mit bekanntem Brechungsindex zu ermitteln (STOIBER & MORSE, 1994).

18 Die Schüler*innen können dieses über einen QR-Code in der Experimentieranleitung mit dem in der Studie bereitgestellten Tablets oder Smartphones aufrufen, vgl. WATZKA et al. (2019)

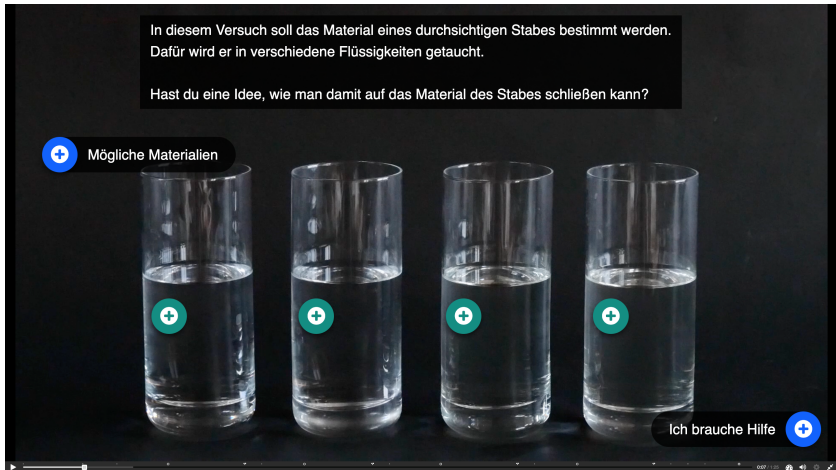


Abbildung 4.5: H5P-Experimentiervideo (Screenshot) zur Untersuchung eines durchsichtigen Stabes.

Die Gestaltung des Experimentiervideos orientiert sich an GLATZ et al. (2021b). Zu Beginn des Videos (siehe Abb. 4.5) wird der Experimentaufbau über ein Standbild gezeigt und ein Textfeld regt an, Vermutungen darüber aufzustellen, wie man auf das Material vom Stab schließen kann. Mögliche Materialien sowie die vier Flüssigkeiten¹⁹, in die der Stab getaucht wird, werden mithilfe von anklickbaren Buttons vorgestellt. Ein Hilfebutton, der für alle Eintauchvorgänge eingeblendet bleibt, gibt zusätzliche Hinweise, worauf im Experiment zu achten sei. Im nächsten Abschnitt sieht man, wie eine Hand den Stab in die jeweilige Flüssigkeit taucht. Dabei wird der Name der Flüssigkeit sowie ihr Brechungsindex in einem Textfeld angezeigt. Im Anschluss an den Eintauchvorgang erscheint ein Fragebutton mit der Frage „Was kannst du beobachten?“ und den beiden Optionen, ob der Stab sichtbar oder unsichtbar in der Flüssigkeit erscheint. Die Schüler*innen können eine der beiden Optionen anklicken und erhalten direktes Feedback, ob ihre Antwort richtig war. Im Anschluss erscheint eine Gabelseite, auf der ausgewählt werden kann,

¹⁹ Die Flüssigkeiten im Experimentiervideo sind Isopropanol, Wasser, Glycerin und eine Zuckerlösung im Verhältnis 2:1.

ob man den Abschnitt noch einmal sehen möchte oder in welche Flüssigkeit der Stab als nächstes getaucht werden soll, wodurch zu der entsprechenden Stelle im Video gesprungen wird. Diese Gabelseite erscheint für jede der vier Flüssigkeiten. Zudem wird die Option gegeben, zur Auswertung des Experiments zu gelangen. Die Auswertung gibt zunächst eine Übersicht der Brechungsindizes der verschiedenen möglichen Materialien sowie der Flüssigkeiten. Ein Hilfebutton klärt darüber auf, wie die Unsichtbarkeit des Stabes mit seinem Material zusammenhängt (siehe Abb. 4.6). Zum Schluss können die Schüler*innen in einem Freitextfeld eingeben, aus welchem Material der Stab basierend auf ihren Beobachtungen bestehen sollte.²⁰ Das Feld ist so angelegt, dass verschiedene Schreibweisen sowie Rechtschreibfehler zugelassen sind. Auch hier erhalten sie direktes Feedback, ob ihre Antwort richtig war. Im Freitextfeld selbst lässt sich ein Tipp einblenden. Die letzte Seite enthält einen Button, mit dem man zum Anfang zurückkehren kann. Im Video ist jederzeit ein Vor- und Zurückspringen entweder durch die Gabelseiten oder mithilfe der unteren Leiste möglich, was eine Flexibilität in der Bearbeitung zulässt. Durch die Gabelung handelt es sich um ein nicht-lineares Experimentiervideo (STINKEN-RÖSNER & MEIER, 2023). Zusätzliche Hilfen sollen den Blick lenken und die Schüler*innen in ihren Beobachtungen unterstützen. Erklärungen, Beschriftungen und Hilfetexte sind dabei räumlich nah zum zugehörigen Element im Video platziert sowie auf das Wesentliche beschränkt (MEIER et al., 2022; STINKEN-RÖSNER & MEIER, 2023). Zwischenaufgaben und eine Auswertung des Experiments am Ende geben Raum für Feedback. Zudem wurde auf einen symmetrischen, einfachen Experimentaufbau geachtet, der sich von einem einfarbigen Hintergrund gut sichtbar abhebt (STINKEN-RÖSNER & MEIER, 2023). Die Experimentieranleitung (im Anhang C.2.1) gibt Hinweise zur Bedienung des Videos sowie Beobachtungshilfen und zusätzliche Informationen. Das Lesen der Experimentieranleitung ist zwar für das erfolgreiche Bearbeiten des Videos nicht notwendig, jedoch kann die Anleitung beim „digitalen“ Experimentieren unterstützen. Sie ist daher als Ergänzung zu dem eigenständigen Experimentiervideo zu verstehen.

20 Der Stab erscheint in Glycerin unsichtbar und besteht damit aus Quarzglas.

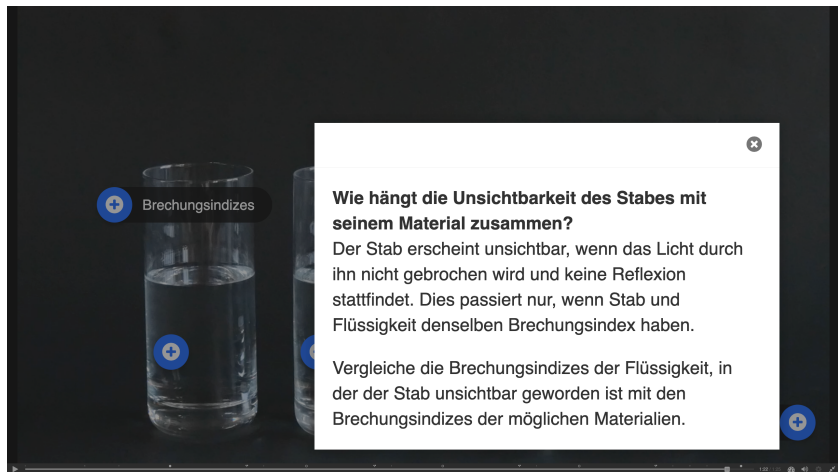


Abbildung 4.6: Hilfebutton bei der Auswertung des Experimentiervideos (Screenshot).

4.3.4 Kreatives Gestalten

Die Experimentierform „Kreatives Gestalten“ ermöglicht Schüler*innen einen spielerischen Zugang zum Kontext. Dabei kann mit einem Fokus auf konkrete lebensweltliche Bezüge gebastelt, gemalt oder gebaut werden (SÜHRIG et al., 2023b, 2020).

Beim „Kreativen Gestalten“ sollte in der Unterrichtseinheit von den Schüler*innen durchsichtiger Schleim hergestellt werden, wie in Abb. 4.7 gezeigt wird.

In der Anleitung werden die Schüler*innen ähnlich wie beim „Angeleiteten Schüler*innenexperiment“ kochbuchartig durch die einzelnen Prozessschritte geführt. Dabei geben Fotos zusätzlich zum Text eine visuelle Hilfe. Im Anschluss an die Schleimherstellung soll dieser abgefüllt und seine optischen Eigenschaften näher untersucht werden. Beispielsweise wirkt ein Finger, der in den Schleim gesteckt wird, durch die Brechungseigenschaften des Schleimes, vergrößert. Direkt nach der Abfüllung erscheint der Schleim weißlich durch die eingeschlossenen Luftblasen, die im Prozess untergerührt wurden. Luft hat einen anderen Brechungsindex als der Schleim, weswegen das Licht, welches durch den Schleim fällt, an den Bläschen gebrochen bzw. gestreut



Abbildung 4.7: Herstellung von durchsichtigem Schleim. Abgebildet sind Bastelkleber, Kontaktlinsenflüssigkeit, Natron und ein Becherglas mit dem fertigen Schleim, welcher umgerührt wird.

wird. Durch die Lichtstreuung erscheint der Schleim weißlich. Mit der Zeit erscheint der Schleim immer transparenter, da die Luftblasen entweichen. Die Schüler*innen sollen Vermutungen über die Gründe dafür aufstellen.

4.3.5 Angeleitetes Schüler*innenexperiment

Angelehnt an die Form des „Kochbuch“-Versuchs von WINKELMANN (2015) zeichnet sich das „Angeleitete Schüler*innenexperiment“ durch eine strukturierte Schritt-für-Schritt-Anleitung aus (im Anhang C.2.1). Nach dieser vorgegeben Experimentieranleitung experimentieren die Schüler*innen und gewinnen so neue Erkenntnisse oder bestätigen bereits bekannte Phänomene (BAUR et al., 2020). Diese Experimentierform fokussiert auf das Ausbilden händischer Experimentierfähigkeiten, da kognitive Planungsprozesse, die mit offeneren Experimentierformen verbunden sind, nicht durch die Schüler*innen erfolgen, sondern durch die Anleitung gewissermaßen festgelegt werden (ebd.). Zudem kann der Umgang mit Laborgeräten geübt werden (ebd.), da der sachgemäße Gebrauch dieser vorgegeben wird. Feedback erhalten die Schüler*innen über den Erfolg bzw. Misserfolg des Experimentes.

In dem in der Studie eingesetzten Experiment lassen die Schüler*innen ein Reagenzglas verschwinden. Dafür füllen sie zunächst ein Wasserglas mit Glycerin, positionieren das Reagenzglas darin und füllen es anschließend mit verschiedenen Flüssigkeiten. Es soll jeweils beobachtet werden, wie gut das Reagenzglas noch mit den verschiedenen Füllungen (Luft, Wasser und Glycerin) zu sehen ist. Die Experimentieranleitung (Anhang C.2.1) unterstützt mit Fotos zu den jeweiligen Experimentierschritten sowie ergänzenden Informationen wie den Brechungsindizes von Luft, Wasser, Glycerin und Glas. Bei diesem Experiment kommt es mehrfach zu Brechungen. Diese treten auf beim Übergang von der jeweiligen Füllung zum Reagenzglas, vom Reagenzglas zum Glycerin und vom Glycerin zum Wasserglas. Das Reagenzglas erscheint unsichtbar, wenn es mit Glycerin gefüllt ist, da Glycerin einen annähernd gleichen Brechungsindex ($n = 1,46$) wie das Reagenzglas ($n = 1,47$) besitzt. Dadurch wird das Licht, das durch das Wasserglas fällt, kaum gebrochen, und das Reagenzglas, welches zuvor mit Luft gut sichtbar war, erscheint unsichtbar.

4.4 Unterrichtseinheit

Das Konzept in Abschnitt 4.1 wurde für den Kontext „Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit“ (Abschnitt 4.2) in Form einer Unterrichtseinheit ausgestaltet (siehe auch Anhang C.1). Dabei ist zu beachten, dass der Kontext nicht nur die Einleitung in den Unterricht bildet, sondern als Inhalt des Unterrichts verstanden wird, der sich wie ein roter Faden durch alle Phasen zieht.

Die Unterrichtseinheit beginnt mit einem Demonstrationsexperiment, welches in den Kontext „Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit“ einführt. In diesem füllt die Lehrkraft Aquakugeln aus dem Dekorationsbedarf in ein Glas. Die Klasse kann diese u.a. durch die leichten Reflexionen an ihrer Oberfläche gut erkennen. Nun gießt die Lehrkraft in das Glas Wasser und die Aquakugeln erscheinen unsichtbar. Dabei erklärt die Lehrkraft, dass Aquakugeln als Granulat verkauft werden, Wasser absorbieren und dadurch in ihrer Größe zunehmen. Im Anschluss an das Demonstrationsexperiment formuliert die Lehrkraft die Forschungsfrage für die Einheit („Warum werden manche Gegenstände wie die Aquakugeln unsichtbar?“). Zu dieser Frage stellen die Schüler*innen in Bezug auf das Demonstrationsexperiment Hypothesen auf,

die von der Lehrkraft festgehalten werden. An dieser Stelle ist die Beachtung von Präkonzepten sinnvoll.

In der Experimentierphase untersuchen die Schüler*innen die Forschungsfrage näher und überprüfen ihre Hypothesen. Zuvor stellt die Lehrkraft ihnen das Angebot an Experimenten vor und erklärt ihnen jedes Experiment kurz. So können die Schüler*innen eine möglichst informierte Wahlentscheidung treffen. Während der Experimentierphase steht die Lehrkraft den Schüler*innen beratend zur Seite. Die Experimente werden jedoch von den Schüler*innen selbstständig durchgeführt und dokumentiert. Die Experimentieranleitungen geben jeweils vor, was die Schüler*innen beim Experimentieren tun sollen.

In der letzten Phase sollen im Plenum die Ergebnisse aus der Experimentierphase zusammengebracht werden. Durch einen Rückbezug in Form einer Stellungnahme zu den Anfangshypothesen werden in einer Plenumsdiskussion die Forschungsfrage geklärt und die Ergebnisse (schriftlich) festgehalten.

4.5 Material

In offenen Unterrichtsphasen wie bei Schüler*innenexperimentierphasen kann die Lehrkraft den Unterricht weniger stark steuern und deswegen braucht es selbsterklärendes Material und Arbeitspläne (BOHL & WACKER, 2021). Dies wurde durch Experimentieranleitungen (zu finden in Anhang C.2.1) realisiert.

Alle Anleitungen sind nach einem ähnlichen Prinzip aufgebaut. Am Textanfang ist der Name des Experiments sowie das Piktogramm der jeweiligen Experimentierform zu finden. Dieses Piktogramm soll helfen, auf dem Arbeitsblatt zum Notieren der Ergebnisse (Anhang C.2.2) das richtige Experiment anzukreuzen.²¹ Die Anleitungen sind in mehrere Abschnitte unterteilt. Dies wurde vorgenommen, um den (komplexen) Text in kleinere Teile zu segmentieren. Dieses Prinzip der Segmentierung soll im Kontext der Cognitive

21 Dieses Arbeitsblatt kam nur in der Interventionsgruppe zum Einsatz, da nur diese aus verschiedenen Experimenten wählen durften. Die Vergleichsgruppe erhielt ein abgewandeltes Arbeitsblatt, das ebenfalls in Anhang C.2.2 zu finden ist.

Load Theory²² dabei helfen, die Informationen besser aufzunehmen (HORZ & SCHNOTZ, 2010). Jeder Abschnitt entspricht dabei einem Experimentierschritt bzw. einer Aufgabe. Links neben dem Experimentierschritt ist ein zugehöriges Piktogramm abgebildet. Das dient zum einen der visuellen Orientierung, zum anderen liefert es eine non-verbale Information zu dem Operator des Experimentierschrittes (FÜHNER & PUSCH, 2019). Jede Anleitung beginnt mit einer kurzen Information über das Experiment, einschließlich der Materialien und Ziele. Die Aufgaben sind in kurzen, einfachen Sätzen formuliert und relevante Begriffe sind fett hervorgehoben. Zusätzliche Hinweise (FÜHNER & PUSCH, 2019) und Realfotos befinden sich auf der rechten Seite neben den Aufgaben, um den Experimentierprozess zu unterstützen. Die zusätzlichen Hinweise befinden sich räumlich in unmittelbarer Nähe zur zugehörigen Aufgabe. Wenn zusammengehörende Texte und Bilder bzw. Hinweise räumlich weit auseinander liegen, kann sich das im Rahmen der Cognitive Load Theory negativ auf den Erwerb von Wissen auswirken (HORZ, 2020). Dies wird als räumliche Kontiguität bezeichnet (MAYER & FIORELLA, 2014).

Die Experimentiererergebnisse werden auf dem Arbeitsblatt „Deine Forschungsergebnisse“ in Anhang C.2.2 notiert. Es sollen dabei Handlungsschritte, Beobachtungen und Erklärungen erfasst werden. Dies ist in schriftlicher oder zeichnerischer Form möglich (KRÜGER & MEYFARTH, 2009).

Alle Materialien und Experimente wurden für diese Studie neu entwickelt bzw. adaptiert.

²² Die Cognitive Load Theory nach SWELLER et al. (1998) besagt, dass beim Lernen im Arbeitsgedächtnis drei verschiedene kognitive Belastungen vorkommen. Eine dieser Belastungen ist der „extraneous load“, der durch die Verarbeitung von Gestaltungselementen entsteht (HORZ, 2020). Dieser kann zum Beispiel durch Segmentierung und räumliche Kontiguität reduziert werden.

Kapitel 5

Design und Methodik

Die Forschungsfragen, Studiendesign und Stichprobe wurden in Teilen bereits in SÜHRIG et al. (2023a, 2023b) vorgestellt.

Das vorgestellte Konzept (siehe Abschnitt 4.1) bietet Wahlmöglichkeiten aus fünf Experimentierformen in Experimentierphasen an, um eine bessere Passung zwischen Lerngegenstand und Lernenden zu schaffen. Die Effekte der dem Konzept inhärenten Wahlfreiheit auf Schüler*innen- und Unterrichtsebene soll in der vorliegenden Studie untersucht werden. Dafür werden Schüler*innen und Lehrkräfte befragt. Der Forschungsstand in Abschnitt 2.4 hat gezeigt, dass sich Wahlfreiheit positiv auf die intrinsische Motivation auswirkt und damit auch indirekt das Lernen (Fachwissenszuwachs) positiv beeinflusst. Da Wahlfreiheit eng mit Autonomieerleben verbunden ist, wird eine Auswirkung auf die Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen vermutet. Zudem wird basierend auf dem Forschungsstand ein Einfluss von Wahlfreiheit auf das Selbstkonzept und die Selbstwirksamkeitserwartung erwartet. Die Zusammenhänge der Konstrukte sind in Abschnitt 2.5 dargestellt.

Es kann daher vermutet werden, dass sich auch positive Effekte einstellen, wenn Wahlfreiheit beim Experimentieren angeboten wird. Die Existenz dieser Effekte wird zunächst durch eine Pilotstudie festgestellt, deren Ergebnisse in Kapitel 7 diskutiert werden. Des Weiteren ist vorgesehen, dass in der Pilotstudie die Testinstrumente und Materialien, welche für die Hauptstudie

vorgesehen sind, evaluiert werden, um mögliche Adaptionenbedarfe zu identifizieren. In der Hauptstudie wird das Unterrichtskonzept und damit die Auswirkung von Wahlfreiheit beim Experimentieren systematisch untersucht. Die Ergebnisse sind in Kapitel 8 dargestellt.

5.1 Forschungsfragen und Hypothesen

Für die Hauptstudie lassen sich daher folgende Forschungsfragen ableiten:

- F1 Nehmen die Gruppen, die Wahlmöglichkeiten in der Experimentierphase angeboten bekommen, diese als Wahlfreiheit wahr?
- F2 Inwieweit wirkt sich Wahlfreiheit in der Experimentierphase auf die intrinsische Motivation der Schüler*innen aus?
- F3 Unterscheidet sich der Fachwissenszuwachs der Gruppen mit Wahlfreiheit im Vergleich zu den Gruppen ohne Wahlfreiheit?
- F4 Schätzen Schüler*innen, die Wahlmöglichkeiten in der Experimentierphase angeboten bekommen, ihren Unterricht positiver ein als Schüler*innen, die eine Experimentiersituation vorgegeben bekommen?
- F5 Inwieweit wirkt sich Wahlfreiheit in der Experimentierphase auf das physikbezogene Selbstkonzept und die Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren der Schüler*innen aus?

Zusätzlich zu den Schüler*innen wird die Sichtweise der unterrichtenden Lehrkräfte in den Blick genommen. Dazu wurden zwei weitere Forschungsfragen formuliert.

- F6 Sehen die Lehrkräfte den Unterricht mit Wahlfreiheit in der Experimentierphase positiver als ohne Wahlfreiheit?
- F7 Welche Aspekte werden von den Lehrkräften in Bezug auf den Ablauf und die Durchführung der Treatments in der Reflexion aufgeführt?

Im Folgenden werden die zu den Forschungsfragen gehörenden Hypothesen formuliert und erläutert. Hypothesen können mit einem klassischen Signifikanztest geprüft werden, welcher auf einem Hypothesenpaar basiert (DÖRING & BORTZ, 2016). Die Alternativhypothese postuliert den erwarteten Effekt aufgrund von theoretischen Grundlagen, wie zum Beispiel einen

Unterschied zwischen den Mittelwerten zweier Gruppen. Die gegensätzliche Nullhypothese (H_0) weist die Alternativhypothese ab und behauptet, dass entweder überhaupt kein Effekt oder ein entgegengesetzter Effekt auftritt (DÖRING & BORTZ, 2016). Sich für die Nullhypothese zu entscheiden, nachdem ein nicht signifikantes Ergebnis im Signifikanztest erhalten wurde, ist nach DÖRING und BORTZ (2016) nur dann zulässig, wenn eine ausreichende Teststärke von $1 - \beta > 80\%$ (z. B. aufgrund einer großen Stichprobe) vorhanden ist. Ansonsten kann das Ergebnis nicht interpretiert werden.²³

Zu jeder Forschungsfrage gehören ein oder mehrere Nullhypothesen sowie Alternativhypothesen. Für die oben genannten Forschungsfragen wurden gerichtete ($F1 - F6$) und ungerichtete Hypothesen ($F5$) formuliert. Gerichtete bzw. einseitige Hypothesen geben die Richtung des postulierten Effekts auf Basis der bestehenden Literatur und Forschungslage vor, ungerichtete (oder zweiseitige) Hypothesen lassen dies offen (DÖRING & BORTZ, 2016). Das Signifikanzniveau²⁴ liegt bei jeder Forschungsfrage bei 5% (RASCH et al., 2021). Die Nullhypothese ist abzulehnen, wenn sich mit ausreichender Effektstärke signifikante Unterschiede zwischen Interventions- und Vergleichsgruppe feststellen lassen bzw. wenn der zugehörige p-Wert das Signifikanzniveau nicht überschreitet ($p < 5\%$).

F1: Nehmen die Gruppen, die Wahlmöglichkeiten in der Experimentierphase angeboten bekommen, diese als Wahlfreiheit wahr?

$H_{0(1)}$ Die Gruppen unterscheiden sich nicht in Hinblick auf die Wahrnehmung ihrer Wahlfreiheit.

H_1 Die Interventionsgruppe nimmt ihre Wahlfreiheit signifikant besser wahr.

In der Studie haben die Interventions- und Vergleichsgruppe jeweils keine Kenntnis von der anderen Gruppe bzw. des anderen Unterrichtssettings. Es gibt bisher keine eindeutigen Ergebnisse in Bezug auf den Einfluss von

23 Bei unzureichender Teststärke ist die Wahrscheinlichkeit, einen β -Fehler zu begehen, also die Nullhypothese fälschlicherweise aufrechtzuerhalten, sehr hoch.

24 Das Signifikanzniveau bezeichnet die größte noch akzeptable α -Fehlerwahrscheinlichkeit, also die Wahrscheinlichkeit die Nullhypothese fälschlicherweise abzulehnen (RASCH et al., 2021).

Wahlfreiheit, wenn die Vergleichsgruppe von den Alternativen weiß (PATALL et al., 2008). In der Meta-Analyse von PATALL et al. (2008) lässt sich im Fixed-Effects-Modell ein signifikant größerer Effekt von Wahlfreiheit auf intrinsische Motivation finden, wenn der Vergleichsgruppe die Alternativen bewusst sind; im Random-Effects-Modell lässt sich kein Gruppenunterschied zwischen der Gruppe mit Wahl und der Vergleichsgruppe feststellen. Daher soll untersucht werden, ob die angebotenen Wahlmöglichkeiten in der Experimentierphase als Wahlfreiheit wahrgenommen werden. Obgleich die Interventionsgruppe nicht von der Alternative weiß, ist zu erwarten, dass durch die Gestaltung des Unterrichtssettings in der Interventionsgruppe (siehe Abschnitt 4.1) diese die Wahlfreiheit wahrnimmt. Deswegen wurde die Alternativhypothese H_1 gerichtet formuliert.

F2: Inwieweit wirkt sich Wahlfreiheit in der Experimentierphase auf die intrinsische Motivation der Schüler*innen aus?

- $H_{0(2)}$ Im Hinblick auf die intrinsische Motivation von Schüler*innen gibt es keine messbaren Unterschiede zwischen den Gruppen mit Wahlfreiheit im Vergleich zu den Gruppen ohne Wahlfreiheit in der Experimentierphase.
- H_2 Die Interventionsgruppe mit Wahlfreiheit ist intrinsisch motivierter als die Vergleichsgruppe.

Die Forschungslage, aber insbesondere die Meta-Analyse von PATALL et al. (2008) zeigt einen empirisch gesicherten Einfluss von Wahlfreiheit auf die intrinsische Motivation in verschiedenen Settings. Die Ergebnisse von PATALL et al. (2008) deuten darauf hin, dass Wahlmöglichkeit sich insgesamt positiv auf die intrinsische Motivation auswirken kann. Es ist durch die Bedingungen der Studie (siehe dazu Abschnitt 5.2.1) davon auszugehen, dass sich diese Erwartung auch beim Experimentieren bestätigt und daher wurde die Alternativhypothese gerichtet formuliert.

F3: Unterscheidet sich der Fachwissenszuwachs der Gruppen mit Wahlfreiheit im Vergleich zu den Gruppen ohne Wahlfreiheit?

- $H_{0(3)}$ Im Hinblick auf den Fachwissenszuwachs gibt es keine messbaren Unterschiede zwischen den Gruppen mit Wahlfreiheit im Vergleich

zu den Gruppen ohne Wahlfreiheit in der Experimentierphase zwischen den beiden Messzeitpunkten.

- H₃ Die Interventionsgruppe mit Wahlfreiheit in der Experimentierphase weist einen signifikant höheren Fachwissenszuwachs zwischen den beiden Messzeitpunkten im Vergleich zu der Gruppe ohne Wahlfreiheit auf.

Es existieren viele empirische Hinweise, insbesondere geprägt durch DECI und RYAN (1993), dass sich intrinsische Motivation positiv auf das Lernen und damit den Fachwissenszuwachs auswirkt (siehe Abschnitt 2.3). Daher kann eine indirekte Wirkung von Wahlfreiheit über die intrinsische Motivation auf das Fachwissen vermutet werden. Die Alternativhypothese ist gerichtet formuliert, da basierend auf dem Forschungsstand ausgegangen werden kann, dass Wahlfreiheit eine höhere intrinsische Motivation und damit einen höheren Fachwissenszuwachs bewirkt.

F4: Schätzen Schüler*innen, die Wahlmöglichkeiten in der Experimentierphase angeboten bekommen, ihren Unterricht positiver ein als Schüler*innen, die eine Experimentiersituation vorgegeben bekommen?

- H₀₍₄₎ Die Gruppen unterscheiden sich nicht in Hinblick auf die Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen zwischen den beiden Messzeitpunkten.

- H₄ Die Interventionsgruppe mit Wahlfreiheit in der Experimentierphase schätzt ihre Lehr- und Lernbedingungen signifikant besser zwischen den beiden Messzeitpunkten ein als die Vergleichsgruppe.

Es besteht die Vermutung, dass die Bereitstellung von Wahlmöglichkeiten während der Experimentierphase sich positiv auf die Wahrnehmung des Unterrichts seitens der Schüler*innen auswirken kann. Die eingesetzte Skala (siehe Abschnitt 6.1.2) „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“²⁵ besteht

25 In dieser Arbeit werden die Skalen bzw. Variablen der eingesetzten Testinstrumente, soweit erforderlich, in Anführungszeichen gesetzt, um diese von den entsprechenden theoretischen Konstrukten abzugrenzen.

aus den Subskalen „soziale Einbindung“, „Autonomieunterstützung“ und „Fehlerkultur“. Die Möglichkeit, die zu bearbeitenden Experimente selbst auszuwählen, erreicht eine bessere Passung zwischen Lerngegenstand und Lernendem. Durch die bessere Passung können die Schüler*innen mehr am Unterricht partizipieren und ihre Einbindung verbessert sich. Zudem konnten SEIDEL et al. (2006) einen Zusammenhang von Wahlfreiheit und dem wahrgenommenen Autonomieerleben zeigen, was eine Subskala der „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“ darstellt. FLUNGER et al. (2019) und PATALL et al. (2010) fanden positive Effekte von Wahlmöglichkeiten auf die Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen. Basierend darauf wird die Alternativhypothese gerichtet formuliert.

F5: Inwieweit wirkt sich Wahlfreiheit in der Experimentierphase auf das physikbezogene Selbstkonzept und die Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren der Schüler*innen aus?

- H_{0(5a)} Die Gruppen unterscheiden sich nicht in Hinblick auf die Einschätzung des physikbezogenen Selbstkonzeptes zwischen den beiden Messzeitpunkten.
- H_{5a} Im Hinblick auf das physikbezogene Selbstkonzept gibt es einen messbaren Unterschied zwischen den Gruppen mit Wahlfreiheit im Vergleich zu den Gruppen ohne Wahlfreiheit in der Experimentierphase zwischen den beiden Messzeitpunkten.
- H_{0(5b)} Die Gruppen unterscheiden sich nicht in Hinblick auf die Einschätzung der Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren zwischen den beiden Messzeitpunkten.
- H_{5b} Die Interventionsgruppe mit Wahlfreiheit weist im Vergleich zu der Gruppe ohne Wahlfreiheit in der Experimentierphase zwischen den beiden Messzeitpunkten eine signifikante Verbesserung der Selbstwirksamkeitserwartung auf.

Wie in Abschnitt 2.4 ausgeführt, könnte Wahlfreiheit bei Experimenten zu einem verbesserten Selbstkonzept sowie einer erhöhten Selbstwirksamkeit der Schüler*innen beitragen, indem sie die Möglichkeit haben, Entscheidungen über ihren eigenen Lernprozess zu treffen und selbstständig ihre gewählten Experimente durchzuführen. Dadurch gewinnen sie Vertrauen

in ihre eigenen Fähigkeiten (NOVAK, 2016). Dieses gestärkte Selbstvertrauen kann zu einem positiven physikbezogene Selbstkonzept sowie zu einer positiven Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren führen. Empirische Studien (FLUNGER et al., 2019; TILFARLIOGLU & CIFTCI, 2011) konnten einen positiven Zusammenhang zwischen Selbstwirksamkeitserwartung und Autonomie feststellen. Für das Selbstkonzept wird ein ähnlicher Zusammenhang erwartet (DECI & RYAN, 2003), der aber noch nicht ausreichend empirisch belegt ist. Da es für das Selbstkonzept keine fundierten empirischen Befunde gibt, wird die Alternativhypothese H_{5a} ungerichtet formuliert. Bei der Selbstwirksamkeitserwartung ist jedoch von einem positiven Zusammenhang auszugehen und H_{5b} wird gerichtet formuliert.

F6: Sehen die Lehrkräfte den Unterricht mit Wahlfreiheit in der Experimentierphase positiver als ohne Wahlfreiheit?

$H_{0(6)}$ Interventions- und Vergleichsgruppe unterscheiden sich nicht in der Reflexion der Lehrkräfte.

H_6 Die Lehrkräfte treffen mehr positive Aussagen über den Unterricht mit Wahlfreiheit in der Experimentierphase als ohne.

Da aufgrund des Forschungsstandes davon auszugehen ist, dass sich Wahlfreiheit positiv auf verschiedene Schüler*innenvariablen (intrinsische Motivation, Fachwissen, Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen, Selbstkonzept und Selbstwirksamkeitserwartung) auswirkt, kann gefolgert werden, dass auf der Ebene der Lehrkräfte diese positiven Einflüsse ebenfalls wahrgenommen werden. Daher wird die Alternativhypothese gerichtet formuliert. Insbesondere ist zu erwarten, dass die Lehrkräfte die Auswirkung auf affektive Merkmale in der Gruppe mit Wahlfreiheit positiver einschätzen, da Wahlfreiheit einen in vielen Studien empirisch gesicherten positiven Effekt auf intrinsische Motivation hat.

F7: Welche Aspekte werden von den Lehrkräften in Bezug auf den Ablauf und die Durchführung der Treatments in der Reflexion aufgeführt?

Bei der siebten Forschungsfrage handelt es sich um eine explorative Frage, daher werden keine Hypothesen aufgestellt. Typischerweise könnten Einschätzungen darüber, wie motiviert die Schüler*innen in den Unterrichtsein-

heiten mitgearbeitet haben, sowie Berichte von Gelingenbedingungen oder Barrieren bei der Durchführung vorkommen.

5.2 Studiendesign

Im Folgenden Abschnitt wird das Studiendesign mit Bezug auf die vorangegangenen Forschungsfragen begründet. Es handelt sich nach DÖRING und BORTZ (2016) um einen quantitativen und explanativen Forschungsansatz, bei dem (aus der Theorie abgeleitete) Forschungshypothesen untersucht werden. Um mit einer explanativen Studie einen eindeutigen Kausalschluss zuzulassen, müssen mindestens zwei Untersuchungsgruppen gebildet werden. Diese werden unterschiedlich behandelt („Treatment“) und schließlich hinsichtlich der interessierenden Wirkungen (abhängiger Variablen) verglichen (Interventions- vs. Vergleichsgruppe) (DÖRING & BORTZ, 2016). Die Interventionsgruppe erhält in dieser Arbeit Wahlfreiheit beim Experimentieren als Treatment, die Vergleichsgruppe darf nicht wählen (mehr dazu in Abschnitt 5.2.1). Diese Gruppen werden entweder randomisiert gebildet („Experiment“) oder nicht zufällig zusammengestellt („Quasi-Experiment“). Beim Quasi-Experiment werden die Gruppen nicht randomisiert gebildet, was bei Feldexperimenten wie der vorliegenden Studie verbreitet ist. Entweder liegen natürliche Gruppen vor wie beispielsweise Schulklassen, oder die Gruppen werden zum Beispiel durch Praktikabilität gebildet (DÖRING & BORTZ, 2016). Um Unterschiede zwischen den nicht-randomisierten Gruppen feststellen zu können, ist bei Quasi-Experimenten ein Prätest von Bedeutung. Da in dieser Arbeit Schüler*innen im Klassenverband untersucht werden, ist eine vollständige Randomisierung nicht möglich gewesen. Das Treatment wurde den Klassen jedoch zufällig zugeteilt.

Bei einer quasi-experimentellen Studie besteht die Möglichkeit, dass sich die Gruppen ebenfalls bezüglich weiterer Merkmale (Störvariablen) und nicht nur im Hinblick auf die unabhängigen Variablen (Treatment) unterscheiden (DÖRING & BORTZ, 2016). Das Quasi-Experiment ist daher hinsichtlich seiner internen Validität eingeschränkt (siehe Tabelle 5.1). Um die interne

Validität²⁶ zu steigern, ist die Kontrolle von Störvariablen notwendig (siehe Abschnitt 8.4).

Beim Untersuchungsort wird zwischen der Labor- (künstliche Umgebung) und Feldstudie (natürliche Umgebung) unterschieden (DÖRING & BORTZ, 2016). Für die Beantwortung der Forschungsfragen ist es notwendig, dass die Untersuchung in der authentischen Umgebung des regulären Unterrichts stattfindet (ökologische Validität), da sich sonst keine Implikationen für die Schulpraxis aus den Ergebnissen ableiten lassen. Es handelt sich bei der vorliegenden Studie um eine Feldstudie, da die Untersuchung im natürlichen Umfeld stattfindet. Die Untersuchungsbedingungen des Feldexperiments sind gut auf den Alltag übertragbar (DÖRING & BORTZ, 2016) und damit ist die externe Validität dessen hoch (siehe Tabelle 5.1).

Um den Einfluss des Treatments (Wahlfreiheit) messen zu können, ist zudem eine empirische Untersuchung mit Messwiederholung notwendig. In diesem Fall handelt es sich um zwei Untersuchungszeitpunkte: ein Prätest vor dem Treatment und ein Posttest nach dem Treatment, um die Wirkung des Treatments zu prüfen (DÖRING & BORTZ, 2016).

Basierend auf den vorangegangenen Unterscheidungskriterien handelt es sich bei der vorliegenden Studie um eine quasi-experimentelle Feldstudie mit Messwiederholung. Diese zeichnet sich nach Tabelle 5.1 durch eine geringe interne und hohe externe Validität aus. Eine Messwiederholung (Prä-Post-Messung) zur Prüfung individueller Veränderungen durch das Treatment

Tabelle 5.1: Interne und externe Validität bei verschiedenen Studiendesigns (DÖRING & BORTZ, 2016, S. 208).

		externe Validität	
		gering	hoch
interne Validität	gering	Quasi-experimentelle Laborstudie	Quasi-experimentelle Feldstudie
	hoch	Laborexperiment	Feldexperiment

²⁶ Laut DÖRING und BORTZ (2016) gelten die Erkenntnisse einer Studie als intern valide, wenn die analysierten Variablenzusammenhänge mit hoher Sicherheit als kausale Ursache-Wirkungs-Relationen interpretiert werden können.

erhöht nach DÖRING und BORTZ (2016) hingegen die interne Validität der Studie. Validität ist ein wichtiges Kriterium bei Erhebungen (SCHWEIZER, 2011). Daher wird versucht, die interne Validität durch die Kontrolle von Störvariablen weiter zu erhöhen (siehe Abschnitt 8.4). Zusätzlich zu interner und externer Validität als Gütekriterien²⁷ führt CAMPBELL (1957) Konstruktvalidität und statistische Validität an. Konstruktvalidität gibt an, inwiefern die verwendeten Messinstrumente die interessierenden theoretischen Konstrukte abbilden. Da bereits empirisch erprobte Messinstrumente (siehe Abschnitt 6.1) zum Einsatz kommen, gilt dieses Kriterium als erfüllt. Die statistische Validität wird mit der korrekten Ausführung der statistischen Analysen erreicht. Durch die Prüfung der Voraussetzungen für die statistischen Analysen sowie die sorgfältige Interpretation der Ergebnisse inklusive Teststärkenbestimmung kann diesem Kriterium genügt werden.

5.2.1 Darstellung der Untersuchungsgruppen

Um die Wirkung von Wahlfreiheit auf bestimmte Schüler*innenmerkmale zu messen, werden zwei Untersuchungsgruppen gebildet, die in den Analysen den Gruppenfaktor darstellen (siehe unten). Beide Gruppen bekommen als Treatment eine Unterrichtseinheit, die sich nur in der Experimentierphase unterscheidet. Die Interventionsgruppe (INT) führt dabei die in Abschnitt 4.4 beschriebene Unterrichtseinheit durch und die Schüler*innen wählen in der Experimentierphase zwei Experimente aus fünf verschiedenen, aber gleichwertigen Experimentierformen (Wahl zwischen Versionen einer Aktivität). Diese fünf Experimente sind in Abschnitt 4.3 ausführlich beschrieben.

Die Vergleichsgruppe (VGL) erhält eine nahezu identische Unterrichtseinheit in Bezug auf die Instruktions- und Plenumsphase (vgl. Abb. 4.2). Auch das demonstrierte Einstiegsexperiment ist dasselbe. Nur in der Experimentierphase wird der VGL keine Wahlfreiheit angeboten. Diese bekommt zwei Experimente vorgegeben und führt zuerst das „Offene Freihandexperiment“ und danach das „Angeleitete Schüler*innenexperiment“ durch. Diese Experimentierformen wurden für die Vergleichsgruppe ausgewählt, da sie er-

²⁷ Weitere Gütekriterien quantitativer Forschung sind nach DÖRING und BORTZ (2016) wissenschaftliche und praktische Relevanz, Forschungs- und Wissenschaftsethik und Standards der Berichterstattung. Für die vorliegende Studie gelten diese ebenfalls als erfüllt.

fahrungsgemäß die geläufigsten Experimentierformen im Regelunterricht repräsentieren. Die VGL ist sich ihrer fehlenden Wahl nicht bewusst.

Somit unterscheiden sich die beiden Gruppen durch das Angebot von Wahlmöglichkeiten in der Experimentierphase.

5.2.2 Materialien

Um eine Vergleichbarkeit der Untersuchungsgruppen herzustellen, wurde der durchzuführende Unterricht zentral vorbereitet. Der Ablauf beider Unterrichtseinheiten (mit und ohne Wahlfreiheit) wurde durch das Lehrkräftebegleitmaterial (siehe Anhang C.1) vorgegeben. So konnte gewährleistet werden, dass der Unterricht in allen Klassen ähnlich ablief und die Gruppen verglichen werden können. In beiden Untersuchungsgruppen kamen die in Abschnitt 4.3 dargestellten Experimente zum Einsatz. Begleitet wurden diese durch Experimentieranleitungen (siehe Anhang C.2.1), die ein selbstständiges Durchführen der Experimente ermöglichen sollen. Auf einem Arbeitsblatt (Anhang C.2.2) konnten die Schüler*innen ihre Experimentierergebnisse notieren. Experimentieranleitungen und Arbeitsblatt dienten der Standardisierung der Experimentierphasen in den Klassen. Die Materialien sind in Abschnitt 4.5 detailliert beschrieben.

5.2.3 Ablauf der Erhebung

Wie bereits erwähnt, ist das dieser Arbeit zugrunde liegende Forschungsprojekt als quasi-experimentelle Interventionsstudie im Prä-Post-Design angelegt. Ziel ist die Untersuchung der Auswirkung von Wahlfreiheit beim Experimentieren auf den Zuwachs an „Fachwissen“, die „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“, das „physikbezogene Selbstkonzept“, die „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“ und die „intrinsische Motivation“ von Schüler*innen der Sekundarstufe I.

Der Prätest wurde unmittelbar vor der Unterrichtseinheit (Treatment) durchgeführt (siehe Abb. 5.1). Er umfasst die Skalen „Fachwissen (FW)“, „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen (LLB)“, „Selbstkonzept (SK)“ und „Selbstwirksamkeitserwartung (SWE)“. Der Posttest wurde im direkten Anschluss an die Unterrichtseinheit bearbeitet. Er umfasst zusätzlich zu den Skalen des Prätests (FW, LLB, SK und SWE) die „Kurzskala intrinsische Motivation (KIM)“ und die „wahrgenommene Wahlfreiheit (WW)“. Die Test-

instrumente sind detailliert in Kapitel 6 erläutert. Prä- und Posttest umfassten vom Zeitumfang in etwa 15 Minuten.

Das Treatment ist die Unterrichtseinheit mit oder ohne Wahlfreiheit in der Experimentierphase. Der Ablauf der Unterrichtseinheit der Interventionsgruppe besteht aus Instruktion, Experimentieren und Sicherung und ist in Abschnitt 4.4 beschrieben. Die Unterrichtseinheit der Vergleichsgruppe besteht ebenfalls aus den drei Phasen, mit dem Unterschied, dass in der Experimentierphase zwei Experimente (Freihandexperiment und angeleitetes Experiment) vorgegeben werden. Für jedes Experiment sind in der Durchführung maximal 45 Minuten eingeplant.

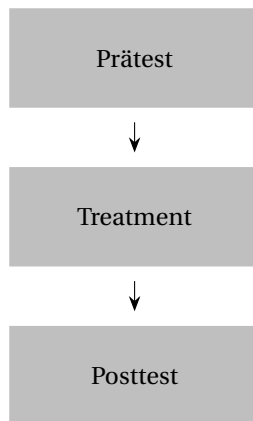


Abbildung 5.1: Ablauf der Erhebung.

5.3 Datenauswertung

In der Bildungsforschung spielen statistische Analyseverfahren eine entscheidende Rolle, um die Auswirkungen von Treatments beispielsweise in Form von Unterrichtskonzepten zu evaluieren. In diesem Kontext werden zwei Arten von Variablen unterschieden. Die unabhängige Variable ist diejenige, nach der die Befragungspersonen den verschiedenen Gruppen zugeteilt werden (Treatment), und ist daher oft nominal skaliert. Die abhängige Variable ist das „Gemessene“ (RASCH et al., 2014a) und damit metrisch oder intervallskaliert. Unterschiedshypothesen können mit t -Tests oder Varianzanalysen²⁸ untersucht werden (BÜHNER & ZIEGLER, 2009), die beide zu den parametrischen Verfahren gehören. Unter Verwendung statistischer Kennwerte wie dem arithmetischen Mittel (t -Test) oder der Varianz (Varianzanalyse (ANOVA)) schätzen parametrische Verfahren die Populationsparameter (RASCH et al., 2021). Um Mittelwertunterschiede zwischen zwei Gruppen auf statistische Signifikanz zu prüfen, eignen sich t -Tests wie sie in der Pilotierung verwendet wurden (siehe Abschnitt 7.3). Bei Versuchsplänen mit mehreren oder mehrstufigen unabhängigen Variablen reicht ein t -Test jedoch nicht mehr aus (BÜHNER & ZIEGLER, 2009; RASCH et al., 2014b). Varianzanalysen (ANOVA)²⁹ prüfen den Einfluss einer oder mehrerer unabhängiger Variablen auf eine oder mehrere abhängige Variablen (BÜHNER & ZIEGLER, 2009). Hierbei wird geprüft, ob sich die Treatmentvarianz (Varianz zwischen den Gruppen, die durch das Treatment bedingt ist) von der Fehlervarianz („natürliche“ Varianz innerhalb der Gruppen, die nicht durch das Treatment bedingt ist) unterscheidet. Die Varianzanalyse kann so u.a. feststellen, ob es signifikante Unterschiede in Schüler*innenvariablen gibt, abhängig von den angewandten Treatments.

Zur Untersuchung der Hypothesen (siehe Abschnitt 5.1) wurden vorrangig quasi-experimentelle Gruppenuntersuchungen mit Messwiederholungen (DÖRING & BORTZ, 2016) angestellt. Für die Analysen in dieser Arbeit wird IBM

28 Varianz ist die durchschnittliche quadrierte Abweichung vom Mittelwert einer Variablen (BÜHNER & ZIEGLER, 2017).

29 Die Abkürzung ANOVA steht für „Analysis of Variance“ (RASCH et al., 2014a).

SPSS Statistics 27³⁰ sowie G* Power³¹ (siehe Abschnitt 8.6.1) verwendet. Eine Übersicht über verschiedene Varianzanalysen ist in Tabelle 5.2 zu finden. Die Analysen für die Variablen „intrinsische Motivation“ und „wahrgenommene Wahlfreiheit“ werden allerdings mit einfaktoriellen Varianzanalysen ohne Messwiederholung durchgeführt, da diese Variablen nur im Posttest erhoben wurden.

Die vorliegende Untersuchung ist nach einem Zweigruppen-Prätest-Posttest-Plan gestaltet. Nach (DÖRING & BORTZ, 2016) ist die interne Validität dieses Planes akzeptabel, wenn sich die durchschnittlichen Prätestwerte und Streuungen der Interventions- und Vergleichsgruppe nicht allzu stark unterscheiden. Mit Blick auf die Ergebnisse (vgl. Abb. 8.1) kann daher von einer akzeptablen internen Validität ausgegangen werden. Die Prätestwerte unterscheiden sich nicht signifikant (siehe dazu auch Abschnitt 8.5). Ein derartiger Plan berücksichtigt zusätzlich zur unabhängigen Variable Messzeitpunkt noch die unabhängige Variable Treatment. Zur Auswertung dieses Planes wird eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen auf dem Faktor Messzeitpunkt (eine sog. „repeated measures ANOVA“) empfohlen (DÖRING, 2023).

5.3.1 *t*-Test

Ein *t*-Test ist ein statistisches Verfahren zum Vergleich von Mittelwerten. BÜHNER und ZIEGLER (2009) unterscheiden *t*-Tests für eine Stichprobe, für abhängige und unabhängige Stichproben. In der Pilotierung dieser Studie (Kapitel 7) kamen *t*-Tests für abhängige Stichproben (gepaarte *t*-Tests) zum Einsatz. Diese werden in Untersuchungsdesigns mit zwei Messzeitpunkten ohne Gruppen verwendet (BÜHNER & ZIEGLER, 2009). Es wird geprüft, ob die Differenz zwischen den Mittelwerten der Messzeitpunkte systematisch verschieden ist. Als Voraussetzung für den gepaarten *t*-Test gelten die Unabhängigkeit der Messungen sowie eine Intervallskalierung und Normalverteilung der Messwerte (ebd.). Ein *t*-Test ist signifikant, wenn die Wahrscheinlichkeit (p-Wert) des (errechneten) *t*-Wertes das gewählte Signifikanzniveau

30 IBM SPSS Statistics ist eine Software für statistische Analysen.

31 G*Power ist ein Programm der Universität Düsseldorf zur Berechnung von statistischen Power-Analysen für verschiedene Tests (FAUL et al., 2007). In der vorliegenden Arbeit wird das Programm für Post-hoc-Teststärkeanalysen verwendet.

Tabelle 5.2: Tabellarische Einordnung verschiedener Varianzanalysen anhand der Anzahl der abhängigen Variablen (AV) mit und ohne Messwiederholung (MW) sowie der Anzahl der unabhängigen Variablen (UV) nach BÜHNER und ZIEGLER (2009, S. 484).

Verfahren	Anzahl der AVs ohne MW	Anzahl der AVs mit MW	Anzahl der UVs (Faktoren)
Einfaktorielle Varianzanalyse	1		1
Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung		1	
Zweifaktorielle Varianzanalyse	1		2
Zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (gemischtes Design)		1	1
Multivariate Varianzanalyse	min. 2		min. 1

unterschreitet (RASCH et al., 2021). Dies gilt analog für Varianzanalysen. Als Effektstärkenkennwert wird bei t -Tests d berechnet. Dieser entspricht der Distanz zwischen zwei Stichprobenmittelwerten (RASCH et al., 2021). Da die Konvention von Cohen zur Interpretation der Effektgröße d am verbreitetsten ist, wird die Effektgröße in der Literatur als Cohens d bezeichnet. Im Falle des gepaarten t -Tests wird ein Spezialfall von Cohens d , Cohens d_z berechnet. Die Interpretation von Cohens d und d_z folgen denselben Abstufungen (siehe Abschnitt 7.2). Cohens d_z gibt die Größe der Mittelwertsdifferenz standardisiert an der Streuung der Differenzen an und wird damit von der Stärke der Abhängigkeit der Daten beeinflusst (RASCH et al., 2021).

5.3.2 Einfaktorielle Varianzanalyse ohne Messwiederholung

Die einfaktorielle Varianzanalyse dient der statistischen Analyse von Mittelwertunterschieden (RASCH et al., 2014a). Die unabhängige Variable wird in der Terminologie der Varianzanalyse als Faktor bezeichnet (RASCH et al., 2014a). Eine einfaktorielle Varianzanalyse beinhaltet, wie der Name bereits suggeriert, eine unabhängige Variable (Faktor) und eine abhängige Variable (siehe Tabelle 5.2) (BÜHNER & ZIEGLER, 2009). Die Stufen eines Faktors entsprechen der Anzahl der realisierten Bedingungen.³² Ein signifikantes Ergebnis in der einfaktoriellen Varianzanalyse besagt, dass mindestens eine Stufe des Faktors von mindestens einer anderen verschieden ist (RASCH et al., 2014a). In diesem Untersuchungsdesign bedeutet das, dass sich die beiden Gruppen (VGL und INT) in ihren Mittelwerten unterscheiden. Effektstärken werden über das Effektstärkemaß η^2 angegeben, welches den Anteil an der Gesamtvariabilität in den abhängigen Variablen durch die Wirkung der unabhängigen Variablen (Gruppenunterschiede) kennzeichnet (BÜHNER & ZIEGLER, 2009). In SPSS wird für die Interpretation der einfaktoriellen Varianzanalyse die Tests der Zwischensubjekteffekte betrachtet (BÜHNER & ZIEGLER, 2009).

Die einfaktorielle Varianzanalyse entspricht dem t -Test für unabhängige Stichproben (DÖRING & BORTZ, 2016). Da die Varianzanalyse mehrere Mittelwerte simultan miteinander vergleicht, tritt bei mehreren Gruppen im Vergleich zum t -Test keine α -Fehler-Kumulierung auf und die Teststärke ist höher (RASCH et al., 2014a).

5.3.3 Zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung

In einem einfaktoriellen Plan (siehe oben) sind die Treatments bzw. die zu vergleichenden Populationen Stufen einer unabhängigen Variablen (DÖRING, 2023). Ein zweifaktorieller Plan prüft hingegen Hypothesen über Veränderungswirkungen von Treatments und wird mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse ausgewertet (DÖRING & BORTZ, 2016). In einer zweifaktoriellen Varianzanalyse liegen zwei Faktoren vor (siehe Tabelle 5.2). Man spricht dabei nach BÜHNER und ZIEGLER (2009) von einem gemischten Design (eine sog. „mixed ANOVA“), wenn die Faktoren ein Gruppenfaktor und ein Messwie-

32 In dieser Studie weist der Faktor zwei Stufen auf: Interventions- und Vergleichsgruppe.

derholungsfaktor sind. Um die zeitliche Veränderung eines Merkmals oder die Wirksamkeit von Treatments zu messen, ist die Methode der Messwiederholung notwendig (RASCH et al., 2014c). Bei Veränderungshypothesen³³ wird daher die Messwiederholung als Faktor in die zweifaktorielle ANOVA aufgenommen.

In zweifaktoriellen Varianzanalysen kann man die Hypothesen über drei Effekte untersuchen: Haupteffekt A, Haupteffekt B und die Interaktion $A \times B$. Der Haupteffekt A zeigt den Einfluss des Faktors A auf die abhängige Variable, ohne Berücksichtigung des Faktors B. Umgekehrt kennzeichnet der Haupteffekt B den Einfluss des Faktors B auf die abhängige Variable, separat von Faktor A. Die Interaktion $A \times B$ bezeichnet den gemeinsamen Einfluss der zwei Faktoren auf abhängige Variablen (RASCH et al., 2014d). Faktor A ist in einem gemischten Design der Gruppenfaktor und Faktor B der Messwiederholungsfaktor (BÜHNER & ZIEGLER, 2009).

Für die Ermittlung des Nettoeffekts des Treatments wird die Differenz der Veränderung in der Interventions- und Vergleichsgruppe berechnet (ROSSI et al., 2004). Ein signifikanter Nettoeffekt wird durch eine signifikante Interaktion zwischen Gruppen- und Messwiederholungsfaktor angezeigt (DÖRING, 2023). Ob ein statistisch signifikanter Effekt des Treatments vorliegt, wird somit durch einen signifikanten Interaktionseffekt bestimmt (DÖRING & BORTZ, 2016). Der Interaktionseffekt in einer zweifaktoriellen Varianzanalyse zeigt an, dass die Interventionsgruppe eine Veränderung erfährt, die signifikant von der Veränderung in der Vergleichsgruppe abweicht, bei der von keinem Effekt ausgegangen wird (DÖRING, 2023). In SPSS finden sich diese Werte im Ausgabefenster einer ANOVA mit Messwiederholung beim Test der Innersubjekteffekte. Effektstärken werden über das Effektstärkemaß *partiell*es η^2 angegeben. Dieses Effektstärkemaß wird bei Varianzanalysen mit Messwiederholung verwendet, da es besser geeignet ist, um die Größe von

33 Die Hypothesen zu den Forschungsfragen F3 – F5 stellen (auch) Veränderungshypothesen dar, da sie sich auf die Entwicklung der jeweiligen Variablen beziehen. In einem gemischten Design werden Unterschieds- und Veränderungshypothesen zugleich geprüft, da Unterschiede in der Veränderung zweier (oder mehrerer) Gruppen untersucht werden.

Unterschieden innerhalb von Befragungspersonen über die Messzeitpunkte zu berechnen (BÜHNER & ZIEGLER, 2017).³⁴

5.3.4 Kovarianzanalyse

Die Kovarianzanalyse (ANCOVA) bezieht kontinuierliche Variablen in eine ANOVA ein, die nicht Teil der experimentellen Hauptmanipulation sind, aber einen Einfluss auf die abhängige Variable haben (FIELD, 2013). Die Kovariaten (Kontroll- oder Störvariablen) werden dabei als Prädiktoren in das Modell aufgenommen und der Einfluss auf die um die Kovariate bereinigten abhängigen Variable wird mit dem Modell getestet (DÖRING & BORTZ, 2016; FIELD, 2013). Kovarianzanalysen können wie ANOVAs einfaktoriell (univariat), multifaktoriell oder multivariat sein.

5.4 Stichprobe

An der Studie haben sieben Lehrkräfte mit 31 Klassen teilgenommen. Diese werden im Folgenden als Lehrkraft 1 – 7 bezeichnet. Insgesamt betrug der Rücklauf 798 Datensätze. Je nach Analyse liegen die verarbeiteten Datensätze (bei denen der Prä- und Posttest vorliegt) zwischen 582 und 476 Datensätzen. Die Einteilung in Interventions- und Vergleichsgruppe erfolgte zufällig.

5.4.1 Schulform und Klassenstufen

In der Stichprobe sind vier Schulformen vertreten – Gymnasium, Realschule, Hauptschule und integrierte Gesamtschule (IGS). Die Schulen der Lehrkräfte 1, 5 und 7 sind kooperative Gesamtschulen. In der Stichprobe sind Klassen aus dem Gymnasial-, Realschul- und Hauptschulzweig enthalten und wurden entsprechend als Schulform „Gymnasium“, „Realschule“ und „Hauptschule“ klassifiziert. Die prozentuale Verteilung der einzelnen Schulformen auf die Interventions- und Vergleichsgruppe ist Tabelle 5.3 zu entnehmen.

In der Interventionsgruppe überwiegt die Schulform Gymnasium, in der Vergleichsgruppe die Realschule. Dieser Unterschied ergab sich zufällig in der Gruppeneinteilung (siehe Abschnitt 5.2).

³⁴ Während bei η^2 der Anteil der Effektvariation an der Gesamtvarianz angegeben wird, ist beim *partiellen* η^2 alleinig der Anteil der Effektvariation an der Summe aus Effekt- und Fehlervariation entscheidend. Für eine detaillierte Gegenüberstellung der beiden Effektmaße siehe BÜHNER und ZIEGLER (2017).

Tabelle 5.3: Anzahl der Befragungspersonen nach Schulform in Prozent.

	Gymnasium	Realschule	Hauptschule	IGS
Interventionsgruppe	54%	15%	4%	28%
Vergleichsgruppe	35%	45%	0%	21%

5.4.2 Kognitive Fähigkeiten

Die Auswertung des in der Hauptstudie eingesetzten kognitiven Fähigkeitstests (KFT) (siehe Abschnitt 6.1.7) erfolgt über die Summierung der richtig beantworteten Items bzw. Lösungen. Diese Rohwerte werden im Anschluss mit Jahrgangsnormentabellen abgeglichen und in sog. T-Werte transformiert (HELLER & PERLETH, 2000). Die T-Standardskala hat einen Mittelwert von $M_T = 50$ und eine Standardabweichung von $SD_T = 10$ (HELLER & PERLETH, 2000).

In Tabelle A.1 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der T-Werte von den Skalen Wortanalogien (V3) und Figurenanalogien (N2) (sprachliche und figurale Fähigkeiten) für die einzelnen Klassen aufgeführt. Diese deuten bereits auf eine gewisse Heterogenität der Stichprobe hinsichtlich der kognitiven Fähigkeiten hin. Trägt man die Werte graphisch auf wie in Abb. 5.2, erkennt man deutlich eine Varianz in den kognitiven Fähigkeiten. Jeder Datenpunkt repräsentiert dabei eine Klasse und die Fehlerbalken stellen jeweils die Standardabweichungen dar. Die Grafik zeigt, dass die einzelnen Klassen zum Teil eine hohe Standardabweichung und damit Heterogenität in den kognitiven Fähigkeiten innerhalb der Lerngruppe aufweisen. Es zeigt sich auch, dass die Klassen insgesamt in ihren Mittelwerten streuen und somit die Stichprobe eine große Heterogenität aufweist. Viele Klassen liegen unter dem Standardmittelwert $M_T = 50$ des KFTs. Ihre kognitiven Fähigkeiten liegen damit im Mittel unter dem Durchschnitt laut HELLER und PERLETH (2000).

Ob die Interventions- und Vergleichsgruppe hinsichtlich ihrer kognitiven Fähigkeiten Unterschiede aufweist, zeigt Abb. 5.3. Die Interventionsgruppe liegt auf einem höheren Niveau der kognitiven Fähigkeiten als die Vergleichsgruppe. Dabei liegen die Mittelwerte der beiden Gruppen in den Figurenanalogien (N2) weiter auseinander als in den Wortanalogien (V3). Die Auswirkung davon wird in Abschnitt 8.4 untersucht.

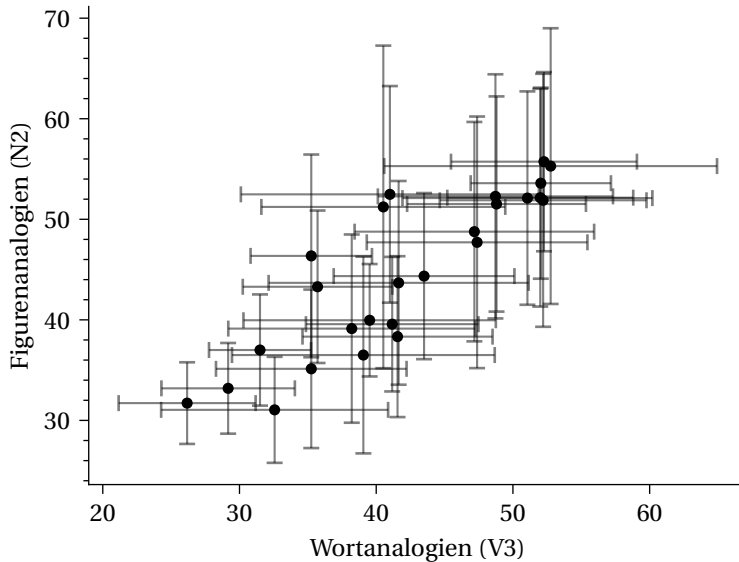


Abbildung 5.2: Mittelwerte der Skalen V3 (sprachliche Fähigkeiten) und N2 (figurale Fähigkeiten) des KFTs für jede Klasse (Punkt). Die Fehlerbalken stellen die Standardabweichung dar.

5.4.3 Kategorisierung in Stadt und Land

Die teilnehmenden Schulen an der Studie wurden basierend auf der Klassifizierung von KÜPPER (2020) in städtische oder ländliche Gebiete eingeteilt. Ländliche Gebiete sind nach dieser Klassifizierung gekennzeichnet durch eine geringe Siedlungsdichte sowie einen hohen Anteil von Ein- oder Zweifamilienhäusern, viel land- und forstwirtschaftlich genutzte Fläche, Bevölkerungsarmut im Umkreis der Siedlungen und eine größere Entfernung zum nächsten Zentrum. Demnach unterrichten Lehrkraft 2 und 7 im ländlichen Raum – Lehrkraft 1, 3, 4 und 6 in städtischen Gebieten. Lehrkraft 5 wird ebenfalls dem städtischen Raum zugeordnet, da die Schule sich zwar in einer Kleinstadt, jedoch in einem Ballungsgebiet in unmittelbarer Nähe zu einer Großstadt befindet. Damit herrschen in der Gesamtstichprobe vorrangig städtische Schulen vor. Von den 798 befragten Schüler*innen gehen 650 auf eine städtische Schule. Das entspricht einem Anteil von ungefähr

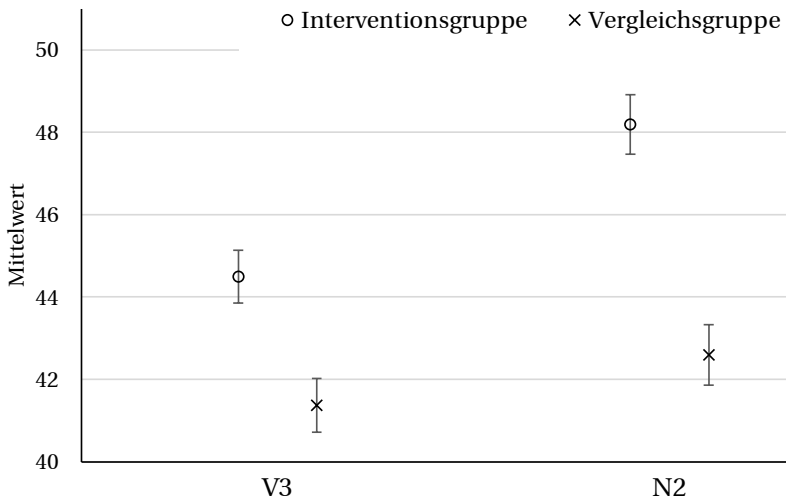


Abbildung 5.3: Mittelwerte der Skalen V3 (sprachliche Fähigkeiten) und N2 (figurale Fähigkeiten) des KFTs für die Interventions- und Vergleichsgruppe. Die Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar.

81%. Interventions- und Vergleichsgruppe weisen einen ähnlichen Anteil von Befragungspersonen aus städtischen Schulen auf (INT: 89%, VGL: 74%), wobei die Interventionsgruppe prozentual mehr Befragungspersonen aus städtischen Schulen enthält.

5.4.4 Fortbildung

Ein Teil der rekrutierten Lehrkräfte wurde über eine Fortbildung zum inklusiven Experimentieren gewonnen. Fortbildungs- und Kontrollgruppe sind annähernd gleich groß.

Die „Fortbildung zum inklusiven Experimentieren“ fand von September 2021 bis März 2022 am Institut für Didaktik der Physik an der Goethe-Universität Frankfurt statt. In insgesamt vier Sitzungen wurden Lehrkräften im Schuldienst das Konzept (siehe Abschnitt 4.1) sowie die darauf basierende Unterrichtseinheit vorgestellt, sie hatten die Möglichkeit basierend auf dem Konzept eigene Experimente zu entwickeln und zu diskutieren. Zudem wurde die Durchführung der Unterrichtseinheiten der Studie reflektiert

und Barrieren beim Experimentieren in heterogenen Lerngruppen diskutiert. Weitere Informationen zu der Fortbildung können verschiedenen Tagungsbeträgen entnommen werden (SÜHRIG et al., 2023a, 2021b, 2020). Die Kontrollgruppe ohne Fortbildung erhielt ein Lehrkräftebegleitmaterial, das die Lerninhalte der Fortbildung enthält, und eine umfassende mündliche Instruktion.

Kapitel 6

Testinstrumente

In der vorliegenden Arbeit soll Wahlfreiheit in Experimentierphasen als Konzept für den inklusiven Physikunterricht untersucht werden. Wie in Kapitel 5 dargestellt ist, thematisieren die Forschungsfragen F1 bis F5 schüler*innen-bezogene Aspekte der Auswirkung von Wahlfreiheit und die Forschungsfragen F6 und F7 untersuchen die Wahrnehmung der Wahlfreiheit aus Sicht der Lehrkräfte. Um diese Fragen adäquat beantworten zu können, werden spezifische Testinstrumente für diese beiden Gruppen benötigt, welche in diesem Kapitel vorgestellt werden. Diese Evaluation auf zwei Ebenen eröffnet die Möglichkeit, ein umfassendes Bild der Wirkungen des Konzeptes zu bekommen.

Für die Ebene der Schüler*innen wurden aus den theoretischen Grundlagen in Kapitel 2 zunächst in Kapitel 5 mögliche Effekte dieser Wahlmöglichkeiten abgeleitet. In der Hauptstudie (Kapitel 8) sollen die Auswirkungen der Wahlmöglichkeiten auf Schüler*innenvariablen, die in der Pilotierung (Kapitel 7) als relevant identifiziert wurden, untersucht werden. Dazu gehören „Fachwissen“, die „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“ (insbesondere dabei die „soziale Einbindung“ und die „Autonomieunterstützung“), das „Selbstkonzept“ und die „Selbstwirksamkeitserwartung“ sowie die „intrinsische Motivation“ (siehe Abschnitte 2.4 und 2.5). Diese stellen aus der Perspektive dieser Arbeit Prädiktoren für eine gelungene Umsetzung des Konzeptes dar. Um diese zu messen, wurden bereits bestehende quantitative Fragebögen mit geschlossenen Antwortformaten (Likert-Skalen) sowie ein

Wissens- und kognitiver Leistungstest eingesetzt. Diese sind in Abschnitt 6.1 detailliert beschrieben. Die Instrumente wurden insbesondere im Hinblick auf eine möglichst gute Passung zu den Hypothesen bzw. Nullhypothesen der schüler*innenbezogenen Forschungsfragen F1 bis F5 ausgewählt.

Auf der Ebene der Lehrkräfte erfolgt die Evaluation mithilfe eines vorrangig qualitativen Reflexionsbogen mit offenen Antwortformaten (siehe Abschnitt 6.2). Dieser wurde eigens für diese Erhebung zur Beantwortung der Forschungsfragen F6 und F7 entwickelt.

6.1 Testinstrumente zur Evaluation des Unterrichtskonzeptes

In diesem Abschnitt werden die einzelnen Testinstrumente zur Messung des „Fachwissens“, der „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“, des „Selbstkonzeptes“ und der „Selbstwirksamkeitserwartung“ sowie der „intrinsischen Motivation“ vorgestellt und beschrieben. Ebenfalls wird in den Schüler*innenfragebögen erhoben, ob die Wahlmöglichkeiten in den Gruppen wahrgenommen werden. Dies wird mit der Skala „wahrgenommene Wahlfreiheit (WW)“ gemessen, die in Abschnitt 6.1.6 ausführlicher beleuchtet wird. Für die Pilotstudie wurde zudem die „Integration“ der Schüler*innen erhoben.

6.1.1 Fachwissenstest zur Lichtbrechung

Um die Entwicklung des Fachwissens in den Gruppen zu bestimmen, kam der Fachwissenstest von WEBER et al. (2017), ursprünglich entwickelt in der Studie von WINKELMANN (2015), zum Einsatz. Dieser wurde dahingehend für die vorliegende Studie adaptiert, dass zunächst nur die Items zu Lichtbrechung ausgewählt wurden, wovon eine Unterauswahl von neun Items, die passend für die konzipierte Unterrichtseinheit erschienen, getroffen wurde. Diese wurden nach der Pilotierung zudem um zwei weitere Items zu Brechungsindizes (Items FW 10 und FW 11) ergänzt, da dieses Thema in der Unterrichtseinheit zentral ist und nicht in einem ausreichendem Umfang im Original-Fragebogen abgedeckt wurde. Das „Fachwissen (FW) zur Lichtbrechung“ umfasst in dieser Studie Items zu Lichtbrechung im Allgemeinen (Item FW 1: „In welcher Situation kannst du Lichtbrechung im Alltag beobachten?“), zum Verlauf von Lichtwegen (Item FW 5: „Was kannst du über einen Lichtstrahl beim Übergang von Luft in einen anderen durchsichtigen Stoff (z.B. Glas oder Wasser) sagen?“) und zu Brechungsindizes (Item FW 10: „Was

ist ein Brechungsindex?“). Jedes Item besteht aus einer Fragestellung mit vier Antwortmöglichkeiten (Single-Choice). Drei Items enthalten Abbildungen (geknickter Strohhalm, Strahlengang durch planparallelen Plexiglaklotz und Skizzen vom Strahlengang zwischen zwei Medien).

Der für die Studie adaptierte Fachwissenstest ist in Anhang B.1.1 zu finden. In diesem können maximal 11 Punkte erreicht werden.

6.1.2 Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen

Die Skala „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen (LLB)“ wurde im Rahmen des Modellversuchs SINUS „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“ und seines Folgeprogramms „SINUS-Transfer“ entwickelt und wurde ebenfalls in der IPN Videostudie „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht“ (SEIDEL, 2003) eingesetzt. Die Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen besteht aus den sieben Bereichen bzw. Subskalen „Wahrnehmung inhaltlicher Relevanz“, „Interesse des Lehrenden“, „Instruktionsqualität“, „soziale Einbindung“, „Kompetenzunterstützung“, „Autonomieunterstützung“ sowie „Fehlerkultur“ (SEIDEL, 2003, S. 364-371).

In der vorliegenden Studie kamen die Subskalen „soziale Einbindung“, „Autonomieunterstützung“ und „Fehlerkultur“ zum Einsatz. Durch den Inklusionsanspruch des Unterrichtskonzeptes (siehe Abschnitt 4.1) scheint die Messung der sozialen Einbindung relevant, da sich durch das Konzept eine höhere Partizipation erhofft wird. Die Subskala „Autonomieunterstützung (AU)“ erfasst die Wahrnehmung von Wahlmöglichkeiten. Eine positive Fehlerkultur ist ein Zeichen eines lernförderlichen Unterrichts (SPYCHIGER et al., 2006). Daher wird sie ebenfalls in der vorliegenden Studie als eine der Variablen betrachtet, die eine erfolgreiche Durchführung der Treatments andeuten, da sie ein Indikator einer wertschätzenden Lernatmosphäre darstellt. In der Studie von SEIDEL (2003) wurden die Items auf einer vierstufigen Likert-Skala eingeschätzt. Die Subskalen wurden im Wortlaut übernommen, mit der Ausnahme, dass in den jeweiligen Items „Lehrerin/Lehrer“ durch „Lehrkraft“ ersetzt wurde. Die Einschätzung in der vorliegenden Studie erfolgte jedoch auf einer fünfstufigen Likert-Skala. Die adaptierten Items, die in der Studie zum Einsatz kamen, sind in Anhang B.1.2 zu finden.

6.1.3 Physikbezogenes Selbstkonzept

Das „physikbezogene Selbstkonzept (SK)“ stammt aus der IPN-Interessenstudie von HOFFMANN et al. (1998) und zählt zum bereichsspezifischen Fähigkeitsselbstkonzept, dass sich auf die wahrgenommene Performanz im Bereich Physik (als Schulfach) bezieht (MÖLLER & TRAUTWEIN, 2020; MOSCHNER & DICKHÄUSER, 2010). Das Selbstkonzept wurde theoretisch in Abschnitt 2.3.4 behandelt.

SK wird in der Studie von HOFFMANN et al. (1998) über zwei Subskalen erhoben. Die erste Subskala mit sieben Items basiert auf der Selbstkonzeptskala von GOEHRKE (1979, zitiert nach HOFFMANN et al., 1998). Die zweite Subskala erhebt mit drei Items Erfolgszuversicht und Hoffnungslosigkeit. Da beide Subskalen auf einen gemeinsamen Faktor laden, kam aus zeitökonomischen Gründen für die vorliegende Studie lediglich die zweite Subskala unverändert zum Einsatz (siehe Anhang B.1.3). Die Gesamtskala weist eine Reliabilität von $\alpha = .90$ auf. In der IPN-Interessensstudie wurden die Items auf einer fünfstufigen Likert-Skala eingeschätzt.

6.1.4 Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren

Die Skala „Selbstwirksamkeitserwartung (SWE) beim Experimentieren“ basiert auf der Skala „SWE-EX“, die von SCHROEDTER und KÖRNER (2012) entwickelt und von KÖRNER und IHRINGER (2016) eingesetzt wurde. Diese Skala beruht auf der von SCHWARZER und JERUSALEM (2002) entwickelten Skala zur allgemeinen Selbstwirksamkeit und fokussiert die Selbstwirksamkeitserwartung im Hinblick auf die Durchführung von Experimenten. Näheres zur Selbstwirksamkeitserwartung ist in Abschnitt 2.3.4 zu finden. Die Gütekriterien der Skala gelten als hinreichend erfüllt (u.a. Cronbachs $\alpha = .90$, $r_{it} > .50$) (SCHROEDTER & KÖRNER, 2012).

Die Skala „SWE-EX“ umfasst acht Items, die in der Studie von KÖRNER und IHRINGER (2016) auf einer vierstufigen Likert-Skala eingeschätzt wurden. Die Skala wurde für die vorliegende Studie ohne Adaptionen übernommen, wie in Anhang B.1.4 zu sehen ist.

6.1.5 Kurzskala intrinsische Motivation

Die „Kurzskala intrinsische Motivation (KIM)“ ist eine adaptierte Kurzversion des „Intrinsic Motivation Inventory (IMI)“ von DECI und RYAN (2003) (WILDE et al., 2009). Das IMI bildet im Unterschied zu anderen Instrumenten zur Er-

fassung intrinsischer Motivation wie beispielsweise von GOTTFRIED (1985) eine breitere Palette von Anwendungsmöglichkeiten ab und fokussiert sich auf Tätigkeiten und nicht auf die schulfachbezogene Motivation. Daher erscheint dieses Instrument bzw. seine deutsche Kurzform für den vergleichsweise spezifischen Einsatz zur Erhebung für Experimentierphasen im Physikunterricht geeignet. Intrinsische Motivation wird definiert als die Intention, eine als interessant oder herausfordernd wahrgenommene Handlung (SCHIEFELE et al., 2018) um ihrer selbst willen durchzuführen (URHAHNE, 2008). Nach DECI und RYAN (1985) wird intrinsische Motivation bei selbstbestimmten oder autonomen Handlungen erlebt. Näheres zu intrinsischer Motivation ist in Abschnitt 2.3 erläutert. Da Motivation nicht direkt beobachtbar ist (SCHUNK et al., 2008, zitiert nach WILDE et al., 2009), bieten sich Fragebögen zur Selbstauskunft für die Erhebung dieser an. Die KIM enthält 12 Items, die sich auf die vier Subskalen (Faktoren) „Interesse/Vergnügen“, „wahrgenommene Kompetenz“, „wahrgenommene Wahlfreiheit“ und „Druck/Anspannung“ mit je drei Items verteilen. Die Subskala „Interesse/Vergnügen“ erhebt dabei als Selbstberichtswert intrinsische Motivation direkt. Die anderen Subskalen stellen positive („wahrgenommene Kompetenz“, „wahrgenommene Wahlfreiheit“) oder negative („Druck/Anspannung“) Prädikatoren für die intrinsische Motivation dar. Die Subskalen sind intern konsistent und hinlänglich reliabel (Cronbachs $\alpha > .50$, $r_{it} > .30$ bis auf ein Item)

Ursprünglich wurde die KIM für einen außerschulischen Lernort konzipiert und getestet, weswegen die Items für die vorliegende Studie passend zum Treatment umformuliert wurden. Dabei wurde für die Aktivität, auf die sich die einzelnen Items bezieht, anstelle „Tätigkeit in der Ausstellung“ „Experimentieren“ verwendet (siehe Anhang B.1.5).

6.1.6 Wahrgenommene Wahlfreiheit

Zur Messung der Motivation nach der Selbstbestimmungstheorie haben DECI und RYAN (2003) als mehrdimensionales Messinstrument das „Intrinsic Motivation Inventory (IMI)“ entwickelt (WILDE et al., 2009). Das IMI dient der Einschätzung subjektiver Erfahrungen im Hinblick auf eine bestimmte Tätigkeit (DECI & RYAN, 2003). Das Instrument erfasst als Subskalen „Interest/Enjoyment“, „Perceived Competence“, „Effort/Importance“, „Pressure/Tension“, „Perceived Choice“, „Value/Usefulness“ und „Relatedness“,

wobei die letzte Subskala noch validiert werden muss. Das IMI ist als Posttest design („post-experimental“). „Wahrgenommene Wahlfreiheit“ („perceived choice“) ist eine der sieben Subskalen aus dem IMI (DECI & RYAN, 2003) und enthält sieben Items. Die „wahrgenommene Wahlfreiheit“ gilt als positiver Prädiktor sowohl für Selbsteinschätzungen als auch für verhaltensbezogene Indikatoren der intrinsischen Motivation (DECI & RYAN, 2003). Für die Studie wurden die einzelnen Items leicht für die in den Treatments eingesetzte Aktivität (Experimentieren) adaptiert. Die Adaptionen können Tabelle 6.1 und Anhang B.1.6 entnommen werden. Nach DECI und RYAN (2003) haben Adaptionen dieser Art keine Auswirkung auf die Reliabilität oder Validität der Skalen.

Die Subskalen des IMI sind kohärent und stabil in vielfältigen Settings (DECI & RYAN, 2003). Zudem ist die Auswahl bestimmter, für die jeweilige Studie passender Subskalen bereits erprobt und liefert dennoch verlässliche Ergebnisse (DECI & RYAN, 2003).

6.1.7 Kognitiver Fähigkeitstest

Zur näheren Untersuchung der Stichprobe in der Hauptstudie sowie zur Identifikation von Unterschieden zwischen Interventions- und Vergleichsgruppe wurde der „kognitive Fähigkeitstest (KFT)“ in der dritten Auflage von HELLER und PERLETH (2000) verwendet. Der KFT ist ein Intelligenztest zur differentiellen Ermittlung kognitiver Fähigkeitsdimensionen wie sprachliches, quantitatives und nonverbal-figurales Verständnis (GRUBER & STAMOULI, 2020; HELLER & PERLETH, 2000). Als Intelligenztest gehört der KFT zu den psychologischen Leistungstests. Diese dienen der Messung der Leistungsfähigkeit mithilfe empirisch geprüfter, meist vollstandardisierten Testaufgaben (DÖRING & BORTZ, 2016). Die Bearbeitung erfolgt oftmals unter Zeitbeschränkung (GRUBER & STAMOULI, 2020). Der KFT ist nach DÖRING und BORTZ (2016) aufgrund verschiedener Unterdimensionen ein mehrdimensionaler Test. Bei den Intelligenztests werden Verfahren unterschieden, die die allgemeine Intelligenz oder mehrere Intelligenzkomponenten messen (auch als Intelligenz-Strukturtests bezeichnet) (DÖRING & BORTZ, 2016). Der KFT gehört zu letzterer Kategorie.

Die Normalform des Tests umfasst 245 Aufgaben verteilt auf 11 Subskalen, die Kurzform besteht aus 6 Subtests mit 140 Aufgaben, was in etwa 130 Minu-

Tabelle 6.1: Adaption der Skala „wahrgenommene Wahlfreiheit“ des IMI.

Original	Adaptiert
Ich glaube, dass ich eine Wahl hatte, diese Tätigkeit auszuüben.	Ich denke, dass ich eine gewisse Wahl hatte beim Experimentieren.
Ich hatte das Gefühl, als ob es nicht meine eigene Wahl war, diese Aufgabe zu bearbeiten.	Ich hatte das Gefühl, dass es nicht meine eigene Entscheidung war, dieses Experiment zu machen.
Ich war nicht wirklich frei in der Wahl, diese Aufgabe zu bearbeiten.	Ich hatte nicht wirklich die Wahl, dieses Experiment zu machen.
Ich hatte das Gefühl, dass ich das tun musste.	Ich hatte das Gefühl, dass ich dieses Experiment machen musste.
Ich übte die Tätigkeit aus, weil ich keine Wahl hatte.	Ich habe dieses Experiment gemacht, weil ich keine andere Wahl hatte.
Ich übte die Tätigkeit aus, weil ich es wollte.	Ich habe dieses Experiment gemacht, weil ich es wollte.
Ich übte die Tätigkeit aus, weil ich es musste.	Ich habe dieses Experiment gemacht, weil ich es musste.

ten Bearbeitungszeit in Anspruch nimmt. Beide Formen sind aufgrund ihrer Länge für den Einsatz in der Studie ungeeignet, insbesondere mit Blick auf den Inklusionsanspruch der Intervention und der Zielstellung der Untersuchung. In der Studie kam daher nicht der gesamte Test zum Einsatz, sondern die Subskalen V3 (Wortanalogien) und N2 (Figurenanalogien). Mit nur diesen Skalen kann der Test laut Manual innerhalb von 20 Minuten durchgeführt werden. Beide Subskalen kamen bereits in der Studie von WINKELMANN et al. (2018) zum Einsatz. In den Wortanalogien (V3) soll ein Wortpaar gefunden werden, was in einem angegeben Verhältnis zueinander steht. Analog gilt dies auch für die Figurenanalogien (N2). Für jede Klassenstufe existiert ein Set an Aufgaben, was sich mit angrenzenden Klassenstufen leicht überlappt. Die erzielten Rohwerte (Anzahl richtig bearbeiteter Aufgaben) werden in jahrgangsbezogene Normwerte (sog. T-Werte) überführt.

6.1.8 Integration von Schüler*innen

In der Pilotierung, jedoch nicht in der Hauptstudie wurde die Kurzversion von VENETZ et al. (2014) des „Fragebogens zur Erfassung der Dimensionen der Integration von Schülern“ (HAEBERLIN et al., 1989) eingesetzt (siehe dazu Kapitel 7). Dabei handelt es sich um ein Instrument zur Selbsteinschätzung der emotionalen, sozialen und leistungsmotivationalen Eingebundenheit. Der Fragebogen wurde für die 4. bis 6. Klassenstufe entwickelt. Er umfasst die drei Subskalen „emotionale, soziale und leistungsmotivationale Integration (Int.)“ mit je vier Items, die gemäß der ursprünglichen Fassung auf einer vierstufigen Likert-Skala eingeschätzt werden sollen. Die Kurzversion erwies sich in Analysen als reliables (Cronbachs $\alpha > .80$, r_{it} zwischen .58 und .84) und valides Instrument (VENETZ et al., 2014). Die Subskala „leistungsmotivationale Integration“ bildet das akademische Selbstkonzept ab.

6.2 Reflexionsbogen

Nach erfolgter Durchführung der Treatments wurden die teilnehmenden Lehrkräfte als Follow-up mittels eines qualitativen halbstrukturierten Fragebogens (siehe Anhang B.2.1) bezüglich der Unterrichtseinheiten befragt. Der Reflexionsbogen enthält zum Teil geschlossene Fragen in Form einer Rating-skala, jedoch vorrangig offene Fragen (DÖRING, 2023). Im Reflexionsbogen wird von den Lehrkräften erwartet, dass sie den Verlauf der Unterrichtseinheiten – sowohl der Interventionsgruppe als auch der Vergleichsgruppe – in einer zweistufigen Einschätzung beleuchten: zuerst allgemein und dann in Bezug auf verschiedene Kategorien.

Im ersten Teil werden sie um eine allgemeine Einschätzung ihrer Eindrücke zur Durchführung der Unterrichtseinheit aufgefordert.

Im zweiten Teil des Fragebogens sollen die Lehrkräfte ihre Eindrücke im Hinblick auf verschiedene Aspekte schildern. Diese Aspekte umfassen die Sicherheit beim Experimentieren, affektive Merkmale, Experimentierkompetenz, Fachwissen, überfachliche Kompetenzen der Schüler*innen, Eindrücke im Hinblick auf Inklusion (im Folgenden als Inklusionsaspekte bezeichnet), Differenzierung in der Klasse sowie Störungen und effektive Lernzeit. Diese basieren auf Kategorien, die in einer vorhergegangenen Studie identifiziert wurden (SÜHRIG et al., 2021a).

Im letzten Teil des Fragebogens kann der empfundene Aufwand in der Durchführung der Unterrichtseinheit auf einer fünfstufigen Likert-Skala (wenig aufwändig bis sehr aufwändig) eingeschätzt werden. Zudem gibt es ein Feld für Anpassungs- oder Verbesserungsvorschläge sowie sonstige Anmerkungen.

Kapitel 7

Pilotierung

Dieses Kapitel enthält Abschnitte, die der Argumentation bereits publizierter Beiträge folgen, vergleiche dazu SÜHRIG et al. (2021c). Die Publikation basiert auf denselben Rohdaten, die diesem Kapitel zugrunde liegen. Allerdings wurden die Daten für dieses Kapitel neu ausgewertet.

Vor der Hauptstudie erfolgte die Durchführung einer Pilotstudie, die der Erprobung des Unterrichtskonzeptes in Form der Unterrichtseinheit, der eingesetzten Testinstrumente sowie der entwickelten Experimente und Materialien diente. In der Pilotierung wurde die Unterrichtseinheit, die in Abschnitt 4.4 vorgestellt wurde, von zwei Lehrkräften in ihren Klassen eingesetzt. Das Ziel der Pilotierung bestand darin, Hinweise zu erhalten, welche Anpassungsschritte zur Hauptstudie erforderlich sind und zu testen, ob die befragten Schüler*innen Schwierigkeiten mit den Fragebögen haben. Die Intervention wurde nicht grundlegend im Vergleich zur Hauptstudie verändert. Daher können die Ergebnisse der Pilotstudie genutzt werden, um zu überprüfen, ob die Unterrichtseinheit die erwarteten Effekte auf die Schüler*innenvariablen zeigt und um somit das Konzept insgesamt (für einen bestimmten Kontext) evaluieren.

7.1 Stichprobe und Durchführung

Die Pilotierung der Unterrichtseinheit fand in vier Klassen der Sekundarstufe I ($n = 66$) mit zwei verschiedenen Lehrkräften³⁵ an zwei Gymnasien in Hessen statt. Lehrkraft 1 nahm mit zwei Klassen der 8. Jahrgangsstufe, Lehrkraft 2 mit zwei Lerngruppen der 7. Jahrgangsstufe teil. Die Pilotierungen fanden in einem zeitlichen Abstand zueinander statt ohne Veränderung oder Weiterentwicklung der Unterrichtseinheit zwischen den Durchläufen. Lehrkraft 1 führte die Pilotierung Oktober/November 2020 durch, Lehrkraft 2 im Juni 2021. Tablets und weitere Experimentiermaterialien wurden den Lehrkräften bereitgestellt. Sie erhielten zudem eine mündliche Instruktion zum Ablauf der Unterrichtseinheit und zur Durchführung der Tests.

Die Unterrichtseinheit umfasst zwei Doppelstunden und dient dazu, zu beurteilen, ob die mit dem Konzept entwickelten Materialien zu Verbesserungen bei bestimmten Schüler*innenvariablen führen. Beide Lehrkräfte unterrichteten dieselbe Unterrichtseinheit, jedoch mit einer leichten Variation der Sozialformen: Die Klassen von Lehrkraft 1 hatten aufgrund von Covid-Restriktionen feste Gruppen. In den Klassen von Lehrkraft 2 konnten die Schüler*innen ihre Sozialform (Gruppenarbeit, Partnerarbeit, Einzelarbeit) bei jeder Experimentierform wechseln. Zu den gemessenen Variablen gehörten das konzeptionelle Wissen zur Lichtbrechung (WEBER et al., 2017), die „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“ (SEIDEL, 2003), die „Integration“ der Schüler*innen (VENETZ et al., 2014), die „intrinsische Motivation“ (WILDE et al., 2009) sowie das „physikbezogene Selbstkonzept“ (HOFFMANN et al., 1998) und die „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“ (KÖRNER & IHRINGER, 2016) (siehe Kapitel 6). Darüber hinaus wurden zwei leitfadengestützte Interviews mit den Schüler*innen durch die Lehrkraft durchgeführt sowie die durchführenden Lehrkräfte befragt, um Informationen für die Weiterentwicklung der Unterrichtseinheit zu erhalten.

Tabelle 7.1 stellt die prozentualen Anteile der Experimentierformen an den insgesamt durchgeführten Experimenten in allen vier Lerngruppen dar. Die beiden digitalen Experimente „Modellbildung“ (GeoGebra-Modell) sowie „Digitalisiertes Experiment“ (Experimentiervideo) machen den kleinsten Anteil aus, während die anderen drei Experimente annähernd gleich verteilt sind

³⁵ Im Folgenden werden diese als Lehrkraft 1 und 2 bezeichnet.

im Gesamtdatensatz. In den Klassen der Lehrkraft 1 wurde das „Digitalisierte Experiment“ in einer Klasse gar nicht und in der anderen Klasse nur zweimal durchgeführt. Diese Klassen hatten während der Pilotierung Probleme mit dem drahtlosen Schulnetzwerk. Da dieses Experiment eine stabile Internetverbindung benötigt, erklärt dies die geringe Durchführungsquote in diesen Klassen. Auch das Experiment „Modellbildung“ benötigt eine Internetverbindung zur Darstellung des GeoGebra-Modells im Internetbrowser oder über die App, dies verbraucht jedoch deutlich weniger Datenvolumen als das Experimentiervideo. Daher konnte dieses Experiment in den Klassen 1 und 2 durchgeführt werden, aber augenscheinlich von weniger Schüler*innen als die anderen Experimente. Die Klassen von Lehrkraft 2 hatten diese Einschränkung nicht, und daher verwundert die geringe Anzahl an Schüler*innen, die „Modellbildung“ in Klasse 3 wählten. In Klasse 4 sind alle fünf Experimentierformen gleich unter den Schüler*innen verteilt. Betrachtet man alle vier Lerngruppen, zeichnet sich leicht das „Kreative Gestalten“ als das beliebteste Experiment ab.

Tabelle 7.1: Prozentuale Anteile der fünf Experimentierformen an der Gesamtanzahl der durchgeführten Experimente pro Klasse.

Lehrkraft	1	1	2	2	
Klasse	1	2	3	4	Mittelwert
Freihandexperiment	29%	24%	28%	19%	25%
Modellbildung	15%	16%	2%	19%	13%
Digitalisiertes Experiment	0%	2%	19%	21%	10%
Kreatives Gestalten	30%	35%	28%	19%	28%
Angeleitetes Experiment	26%	22%	24%	21%	24%

7.2 Datenauswertung

In der Pilotierung soll mithilfe von gepaarten t -Tests überprüft werden, wie sich die Variablen „Fachwissen (FW)“, die „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen (LLB)“, die intrinsische Motivation (gemessen durch die Kurzskala intrinsische Motivation (KIM)), das „physikbezogene Selbstkonzept (SK)“, die „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren (SWE)“ und die „Integration“ der Schüler*innen von Prä- zum Posttest (vor und nach der Unterrichtseinheit) verändern. Dies soll zeigen, welche Variablen durch die Unterrichtseinheit beeinflusst werden.

Mit einem t -Test für abhängige Stichproben (gepaarter t -Test) wird die Nullhypothese überprüft, dass sich die Mittelwerte einer zu zwei Zeitpunkten gemessenen abhängigen Variablen in einer Population nicht unterscheiden (DÖRING & BORTZ, 2016). Die Fehler- oder Irrtumswahrscheinlichkeit³⁶ wird auf fünf Prozent festgelegt (BÜHNER & ZIEGLER, 2009). Ergebnisse sind daher signifikant, wenn $p < .05$. Die Effektstärke wird über Cohens d_z angegeben. Dabei entspricht nach DÖRING und BORTZ (2016, S. 820) $d_z = 0.20$ einem kleinen, $d_z = 0.50$ einem mittleren und $d_z = 0.80$ einem großen Effekt.

7.3 Ergebnisse der Pilotierung

Bevor t -Tests gerechnet werden können, müssen die Voraussetzungen dafür geprüft werden. Sind diese erfüllt, werden die Analysen mit SPSS Statistics 27 durchgeführt. Anschließend werden die Ergebnisse insgesamt und getrennt nach den beiden Lehrkräften beschrieben und interpretiert.

7.3.1 Prüfung der Voraussetzungen

Im Datensatz befinden sich bei den Hauptskalen keine extremen Ausreißer. In den Subskalen „Druck und Anspannung“ (KIM) und „soziale Integration“ („Integration“) sind extreme Ausreißer zu finden. Diese werden im Datensatz belassen, da es sich um Subskalen handelt und in den jeweiligen Hauptskalen diese extremen Ausreißer nicht zu finden sind. Die Unabhängigkeit der Messungen und die Intervallskalierung der Messwerte durch die eingesetzten Likert-Skalen sind gegeben. Die Daten sind bei folgenden Variablen nicht normalverteilt, da der Shapiro-Wilk-Test signifikant geworden ist:

36 Damit ist die Wahrscheinlichkeit gemeint, die Nullhypothese zu verwerfen, obwohl sie in der Grundgesamtheit gilt.

- Fachwissen ($p = .012$)
- Integration ($p = .006$)
- Soziale Einbindung (Subskala von LLB) ($p = .024$)
- Interesse und Vergnügen (Subskala von KIM) ($p < .001$)
- Druck und Anspannung (Subskala von KIM) ($p = .001$)
- Soziale Integration (Subskala von Integration) ($p < .001$)
- Leistungsmotivationale Integration (Subskala von Integration) ($p = .017$)

Da der t -Test als robust gegenüber der Verletzung der Normalverteilungsannahme gilt und die Stichprobe größer als 30 ist (STONE, 2010) kann dennoch ein gepaarter t -Test gerechnet werden. Für fehlende Werte wurde der Fallausschluss Test für Test verwendet, der alle Fälle mit gültigen Daten für die getesteten Variablenpaare verwendet. So werden weniger Personen von der Analyse ausgeschlossen als beim listenweisen Fallausschluss. Bei einem listenweisen Fallausschluss werden Fälle mit fehlenden Werten aus allen Analysen ausgeschlossen (siehe dazu auch Abschnitt 8.3).

7.3.2 Ergebnisse insgesamt

Zunächst werden die Daten insgesamt analysiert. In Abschnitt 7.3.3 werden die Ergebnisse der Lehrkräfte miteinander verglichen, da die unterschiedlichen Bedingungen in der Durchführung der Studie sowie der zeitliche Abstand zwischen den Pilotierungen von Lehrkraft 1 und 2 einen Unterschied in den Ergebnissen nahelegt.

Es konnte in den Gesamtergebnissen (siehe Tabelle 7.2) kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Prä- und Posttest beim „Fachwissen“ ($p = .169$, Cohens $d_z = .18$) und bei der „Integration“ der Schüler*innen ($p = .286$, Cohens $d_z = .14$) gefunden werden. Nicht alle Lerngruppen scheinen durch die Unterrichtseinheit in Bezug auf ihr Fachwissen zur Lichtbrechung dazuzulernen. Auch verbessert sich nicht in allen Klassen die wahrgenommene Integration der Schüler*innen.

In den Gesamtergebnissen in Tabelle 7.2 zeigt sich jedoch eine Verbesserung der „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“ ($p = .022$, Cohens

Tabelle 7.2: Ergebnisse des gepaarten t -Tests (Prä, Post) ($n=87$). Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD), Standardfehler des Mittelwertes (SEM), die Unter- (UG) und Obergrenzen (OG) eines 95 % Konfidenzintervalls (CI), t -Werte (T), Anzahl an Freiheitsgraden (df) sowie Signifikanzwerte p und Effektstärken Cohens d_z berichtet. Signifikante p -Werte ($p < .05$) sind fett hervorgehoben.

Variable	M	SD	SEM	95 % CI		T	df	p	d_z
				UG	OG				
FW	0.40	2.26	0.28	-0.17	0.97	1.39	62	.169	.18
LLB	0.13	0.45	0.06	0.02	0.25	2.34	63	.022	.29
Soziale Einbindung	0.25	0.66	0.08	0.09	0.42	3.06	63	.003	.38
Autonomie-unterstütz.	0.15	0.73	0.09	-0.03	0.34	1.71	63	.093	.21
Fehlerkultur	0.04	0.53	0.07	-0.10	0.18	0.59	59	.555	.08
KIM	0.26	0.51	0.07	0.13	0.40	3.91	57	<.001	.51
Interesse & Vergnügen	0.62	0.85	0.11	0.40	0.85	5.50	55	<.001	.73
Wahrg. Kompetenz	-0.01	0.68	0.09	-0.20	0.17	-0.13	54	.895	-.02
Wahrg. Wahlfreiheit	0.31	1.08	0.15	0.01	0.60	2.10	54	.040	.28
Druck & Anspannung	-0.14	0.95	0.13	-0.39	0.12	-1.06	54	.293	-.14
SK	0.27	0.82	0.11	0.06	0.48	2.53	59	.014	.33
SWE	0.22	0.53	0.07	0.08	0.37	3.14	54	.003	.42
Integration	-0.04	0.29	0.04	-0.11	0.03	-1.08	63	.286	-.14
Emotionale Integration	0.13	0.59	0.07	-0.02	0.27	1.74	63	.087	.22
Soziale Integration	-0.13	0.42	0.05	-0.24	-0.03	-2.48	63	.016	-.31
Leistungs-mot. Int.	-0.06	0.42	0.05	-0.16	0.04	-1.15	63	.253	-.14

$d_z = .29$) mit kleinem Effekt, der „intrinsischen Motivation“ ($p < .001$, Cohens $d_z = .51$) mit mittlerem Effekt, des „Selbstkonzepts“ ($p = .014$, Cohens $d_z = .33$) mit kleinem Effekt und der „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“ ($p = .003$, Cohens $d_z = .42$) mit kleinem Effekt. Insgesamt scheint sich die Unterrichtseinheit positiv auf die affektiven Merkmale der Schüler*innen auszuwirken.

Wirft man einen genaueren Blick auf die Subskalen der „Einschätzung der LLB“ (siehe Tabelle 7.2), fällt auf, dass nur die Subskala „soziale Einbindung“ eine signifikante Verbesserung mit kleinem Effekt zeigt. Dieses Ergebnis deutet auf eine positive Entwicklung in Richtung der Teilhabe der Lernenden hin und zeigt damit, dass die Inklusionsabsicht des Unterrichtskonzeptes erfolgreich ist.

Bei den Subskalen der „intrinsischen Motivation (KIM)“ hat sich „Interesse & Vergnügen“ sowie „wahrgenommene Wahlfreiheit“ signifikant mit mittlerem bzw. kleinem Effekt verbessert (siehe Tabelle 7.2). Da die Schüler*innen in der Einheit die Experimente auswählen können, ist die Verbesserung der „wahrgenommenen Wahlfreiheit“ wenig verwunderlich. Auch die Verbesserung von „Interesse und Vergnügen“ ist basierend auf der Theorie (siehe Abschnitt 2.4) erwartbar. Durch die immer noch angespannten Unterrichtsbedingungen während der Covid-Pandemie, in denen beide Pilotierungsdurchgänge stattfanden, ist möglicherweise der wahrgenommene Druck, gemessen in der Subskala „Druck & Anspannung“, in den Klassen unverändert. Die „wahrgenommene Kompetenz“ als Prädiktor der „intrinsischen Motivation“ ist zumindest in der Pilotierung ebenfalls unverändert geblieben.

Die relativ kurze Unterrichtseinheit zeigt insgesamt keine signifikanten Auswirkungen auf die „Integration“ der Schüler*innen. Dies kann darin begründet liegen, dass es Zeit braucht, um die soziale Situation in Klassen zu verbessern. Nur in der Subskala „soziale Integration“ zeigt sich eine signifikante Verschlechterung mit kleinem Effekt ($p = .016$, Cohens $d_z = .31$).

7.3.3 Ergebnisse nach Lehrkraft

Um zu prüfen, ob Unterschiede im Erfolg der Unterrichtseinheit zwischen den Lehrkräften existieren, wurden zweifaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung mit „Lehrkraft“ als Zwischensubjektfaktor bzw.

Gruppenfaktor durchgeführt.³⁷ Die Ergebnisse sind in Tabelle 7.3 dargestellt. Die folgenden Analysen sind möglich, da sich die Klassen einer Lehrkraft untereinander nur geringfügig in den gemessenen Variablen unterscheiden.³⁸

Wie man Tabelle 7.3 entnehmen kann, unterscheiden sich die Klassen der Lehrkräfte 1 und 2 signifikant mit kleinem Effekt in allen Variablen außer einer Subskala der „intrinsischen Motivation“ („Druck & Anspannung“) sowie den Subskalen der „Integration“. Daher werden die Daten im Folgenden aufgeteilt nach Lehrkraft ausgewertet.

Die Analyse der Daten gesondert nach Lehrkraft zeigt, dass die Einheit einen positiveren Einfluss auf die Klassen von Lehrkraft 1 hatte (siehe Tabelle 7.4). In den beiden Klassen dieser Lehrkraft wurde eine signifikante Verbesserung des Fachwissens mit mittlerem Effekt ($p = .001$, Cohens $d_z = .57$) festgestellt. Mit Blick auf die Mittelwerte vor und nach der Einheit in Abb. 7.1(a) oder Tabelle 7.4 ist ersichtlich, dass die Klassen von Lehrkraft 1 einen niedrigeren Wert beim Fachwissen im Prätest als Lehrkraft 2 aufweisen. Beide Lehrkräfte unterrichteten in diesem Schuljahr Anfangsunterricht Optik in ihren Klassen (bei Lehrkraft 1 nach Schulcurriculum in der 8. Jahrgangsstufe, bei Lehrkraft 2 in der 7. Jahrgangsstufe). Da die Pilotierung in den Klassen von Lehrkraft 1 eher zu Beginn des Schuljahres, bei Lehrkraft 2 gegen Ende des Schuljahres stattfand, ist der Unterschied im Fachwissen nicht überraschend. Die Klassen von Lehrkraft 2 hatten einige der in der Unterrichtseinheit behandelten Themen bereits im selben Schuljahr gelernt, was ihren höheren Wissensstand vor Beginn der Unterrichtseinheit erklärt. Daher konnten sich nur die Klassen von Lehrkraft 1 beim Fachwissen signifikant verbessern. Bei den Klassen von Lehrkraft 2 ist in Abb. 7.1(a) oder Tabelle 7.5 eine nicht-signifikante Verschlechterung des Fachwissens erkennbar. Es ist möglich, dass diese Klassen aufgrund des höheren Prätestwerts im Fachwissen keine weitere Verbesserung erzielen konnten und die Einheit möglicherweise

³⁷ Varianzanalysen werden im Detail in Abschnitt 5.3 behandelt.

³⁸ Die Klassen von Lehrkraft 1 unterscheiden sich untereinander nicht signifikant, die von Lehrkraft 2 nur in Subskalen der Variablen KIM und LLB, was durch t -Tests für unabhängige Stichproben geprüft wurde. Allerdings ist die Aussagekraft dieser Tests aufgrund der geringen Stichprobengröße stark eingeschränkt.

Tabelle 7.3: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung. Es werden Signifikanzwerte p und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet. Signifikante p -Werte ($p < .05$) sind fett hervorgehoben.

Variable	p-Wert	Partielles η^2
FW	.002	.15
LLB	<.001	.32
Soziale Einbindung	<.001	.32
Autonomieunterstützung	.001	.16
Fehlerkultur	.015	.10
KIM	.021	.09
Interesse & Vergnügen	.029	.09
Wahrg. Kompetenz	<.001	.22
Wahrg. Wahlfreiheit	.003	.16
Druck & Anspannung	.323	.02
SK	<.001	.21
SWE	.004	.14
Integration	.032	.07
Emotionale Integration	.199	.03
Soziale Integration	.505	.01
Leistungsmot. Integration	.111	.04

als repetitiv empfunden wurde. Beide Klassen erzielten im Posttest einen ähnlichen Mittelwert im Fachwissen.³⁹

Bei der „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen (LLB)“ ist in den Klassen von Lehrkraft 1 eine signifikante Verbesserung mit großem Effekt ($p < .001$, Cohens $d_z = .88$) zu verzeichnen (siehe Tabelle 7.4). In den Klassen der Lehrkraft 2 wurde eine signifikante Verschlechterung bei der „Einschät-

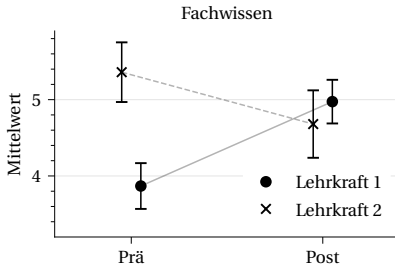
39 Ein weiterer Erklärungsansatz kann der niedrige Anteil des Modellbildungsexperiments in Klasse 3 bieten. Da dieses das physikalische Phänomen direkt darstellt (siehe Abschnitt 4.3.2), kann vermutet werden, dass insbesondere dieses in der Lage ist, das Phänomen zu erklären. Die Wirkung einzelner Experimente auf die erhobenen Variablen wurde aufgrund zu geringer Stichprobengröße in dieser Studie nicht untersucht.

Tabelle 7.4: Ergebnisse des gepaarten t -Tests (Prä, Post) ($n=46$) für Lehrkraft 1. Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD), Standardfehler des Mittelwertes (SEM), die Unter- (UG) und Obergrenzen (OG) eines 95 % Konfidenzintervalls (CI), t -Werte (T), Anzahl an Freiheitsgraden (df) sowie Signifikanzwerte p und Effektstärken Cohens d_z berichtet. Signifikante p -Werte ($p < .05$) sind fett hervorgehoben.

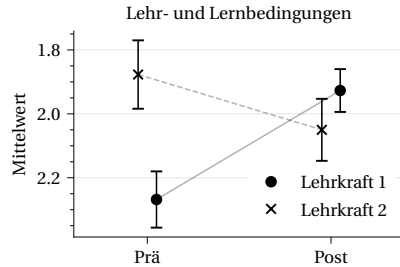
Variable	M	SD	SEM	95 % CI		T	df	p	d_z
				UG	OG				
FW	1.11	1.94	0.32	0.47	1.74	3.51	37	.001	.57
LLB	0.34	0.39	0.06	0.21	0.47	5.43	37	<.001	.88
Soziale	0.56	0.60	0.10	0.36	0.76	5.73	37	<.001	.93
Einbindung	0.39	0.59	0.10	0.20	0.59	4.09	37	<.001	.66
Autonomie-									
unterstütz.	0.17	0.52	0.09	0.00	0.34	2.01	36	.053	.33
Fehlerkultur	0.38	0.44	0.07	0.23	0.53	5.15	35	<.001	.86
KIM	0.82	0.92	0.16	0.50	1.14	5.18	33	<.001	.89
Interesse &	0.23	0.65	0.11	0.01	0.45	2.09	34	.044	.35
Vergnügen	0.63	0.85	0.14	0.34	0.92	4.39	34	<.001	.74
Wahrg.									
Kompetenz	-0.23	1.02	0.17	-0.58	0.12	-1.35	34	.184	-.23
Wahrg.	0.55	0.72	0.12	0.31	0.78	4.72	37	<.001	.77
Wahlfreiheit	0.37	0.46	0.08	0.22	0.53	4.81	34	<.001	.81
Druck &	0.02	0.28	0.05	-0.07	0.12	0.54	37	.595	.09
Anspannung	0.21	0.60	0.10	0.01	0.40	2.12	37	.041	.34
SK	-0.10	0.41	0.07	-0.23	0.03	-1.53	37	.135	-.25
SWE	0.01	0.34	0.06	-0.10	0.12	0.16	37	.876	.03
Integration									
Emotionale									
Integration									
Soziale									
Integration									
Leistungs-									
mot. Int.									

Tabelle 7.5: Ergebnisse des gepaarten *t*-Tests (Prä, Post) (n=41) für Lehrkraft 2. Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD), Standardfehler des Mittelwertes (SEM), die Unter- (UG) und Obergrenzen (OG) eines 95 % Konfidenzintervalls (CI), *t*-Werte (T), Anzahl an Freiheitsgraden (df) sowie Signifikanzwerte *p* und Effektstärken Cohens d_z berichtet. Signifikante *p*-Werte ($p < .05$) sind fett hervorgehoben.

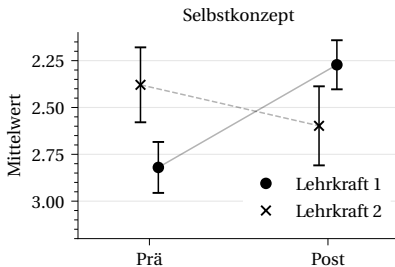
Variable	M	SD	SEM	95 % CI		T	df	p	d_z
				UG	OG				
FW	-0.68	2.32	0.46	-1.64	0.28	-1.46	24	.156	-.29
LLB	-0.17	0.36	0.07	-0.32	-0.03	-2.45	25	.022	-.48
Soziale Einbindung	-0.20	0.45	0.09	-0.38	-0.01	-2.23	25	.035	-.44
Autonomie-unterstütz.	-0.20	0.77	0.15	-0.51	0.11	-1.30	25	.206	-.25
Fehlerkultur	-0.17	0.49	0.10	-0.38	0.05	-1.64	22	.116	-.34
KIM	0.07	0.56	0.12	-0.18	0.31	0.56	21	.584	.12
Interesse & Vergnügen	0.32	0.62	0.13	0.04	0.59	2.40	21	.026	.51
Wahrg. Kompetenz	-0.43	0.52	0.12	-0.68	-0.19	-3.75	19	.001	-.84
Wahrg. Wahlfreiheit	-0.26	1.23	0.27	-0.83	0.32	-0.94	19	.358	-.21
Druck & Anspannung	0.03	0.82	0.18	-0.35	0.42	0.18	19	.858	.04
SK	-0.22	0.76	0.16	-0.56	0.12	-1.36	21	.190	-.29
SWE	-0.04	0.55	0.12	-0.30	0.22	-0.32	19	.756	-.07
Integration	-0.13	0.27	0.05	-0.24	-0.02	-2.42	25	.023	-.48
Emotionale Integration	0.01	0.56	0.11	-0.21	0.24	0.12	25	.908	.02
Soziale Integration	-0.17	0.44	0.09	-0.35	0.01	-1.98	25	.058	-.39
Leistungs-mot. Int.	-0.16	0.49	0.10	-0.36	0.04	-1.66	25	.110	-.32



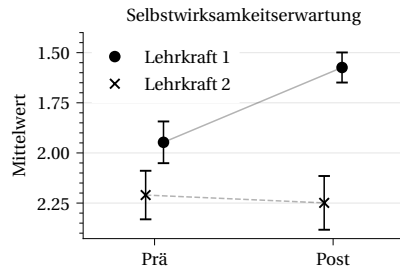
(a) Mittelwerte der Skala „Fachwissen zur Lichtbrechung“ für den Prä- und Posttest für Lehrkraft 1 und 2.



(b) Mittelwerte der Skala „Lehr- und Lernbedingungen“ für den Prä- und Posttest für Lehrkraft 1 und 2.



(c) Mittelwerte der Skala „physikbezogenes Selbstkonzept“ für den Prä- und Posttest für Lehrkraft 1 und 2.



(d) Mittelwerte der Skala „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“ für den Prä- und Posttest für Lehrkraft 1 und 2.

Abbildung 7.1: Mittelwerte im Prä- und Posttest der Datensätze getrennt nach Lehrkraft für die Skalen „Fachwissen zur Lichtbrechung“, „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“, „physikbezogenes Selbstkonzept“ und „Selbstwirksamkeitserwartung“ beim Experimentieren. Die Fehlerbalken entsprechen dem Standardfehler des Mittelwertes.

zung der LLB“ mit mittlerem Effekt ($p = .022$, Cohens $d_z = .48$) festgestellt, erkennbar am negativen Wert für den Mittelwert M (siehe Tabelle 7.5). In den Gruppen von Lehrkraft 1 findet eine signifikante Verbesserung in den Subskalen „soziale Einbindung“ mit großem ($p < .001$, Cohens $d_z = .93$) und „Autonomieunterstützung“ mit mittlerem Effekt ($p < .001$, Cohens $d_z = .66$) statt, nicht aber in „Fehlerkultur“. Da die Unterrichtseinheit nur implizit eine positive Fehlerkultur bewirbt, ist dieses Ergebnis nicht verwunderlich.

Die Gruppen von Lehrkraft 2 verschlechtern sich signifikant in der Subskala „soziale Einbindung“ mit kleinem Effekt ($p < .035$, Cohens $d_z = .44$), während die anderen Subskalen keine signifikante Veränderung aufweisen. Der Inklusionsanspruch des Konzeptes scheint in den Klassen von Lehrkraft 2 nicht erreicht zu sein. Wie in Abb. 7.1(b) ersichtlich, weisen im Prätest die Klassen von Lehrkraft 2 einen höheren Mittelwert bei der „Einschätzung der LLB“ als die Klassen von Lehrkraft 1 auf. Im Posttest erreichen beide Gruppen einen ähnlichen Mittelwert. Somit kann auch bei der „Einschätzung der LLB“ ähnlich wie beim „Fachwissen“ gefolgert werden, dass sich die LLB in den Prätests zwischen den Lehrkräften zu stark unterscheiden, sodass keine Rückschlüsse auf die Wirkung der Unterrichtseinheit gezogen werden können.

In der „intrinsischen Motivation“ verbessern sich die Klassen von Lehrkraft 1 signifikant mit großem Effekt ($p < .001$, Cohens $d_z = .86$), während die Klassen von Lehrkraft 2 in der Gesamtskala KIM keine signifikante Veränderung zeigen (siehe Tabelle 7.4 und Tabelle 7.5). Nur in den Subskalen „Interesse & Vergnügen“ ($p = .026$, Cohens $d_z = .51$) und „wahrgenommene Kompetenz“ ($p = .001$, Cohens $d_z = .84$) zeigen diese Gruppen eine signifikante Verbesserung mit mittlerem bzw. großem Effekt. Die Klassen von Lehrkraft 1 zeigen eine signifikante Verbesserung in allen Subskalen mit Ausnahme von „Druck & Anspannung“. Daher kann vermutet werden, dass die Unterrichtseinheit sich insbesondere positiv auf das Interesse und die wahrgenommene Kompetenz auswirkt. Dies soll genauer in der Hauptstudie (Kapitel 8) untersucht werden.

Der Test zur Messung der intrinsischen Motivation ist eine adaptierte Version (WILDE et al., 2009) des „Intrinsic Motivation Inventory“ von DECI und RYAN (2003) und ist ursprünglich als Posttest konzipiert. Er wurde in der Pilotierung sowohl im Prä- als auch im Posttest eingesetzt. In der Hauptstudie (siehe Kapitel 8) wird dieser nur als Posttest eingesetzt. Vergleicht man daher nur die Posttests von Lehrkraft 1 und 2 in einer einfaktoriellen ANOVA wie in Tabelle A.2, findet man in der Gesamtskala keine signifikanten Unterschiede zwischen den Lehrkräften, lediglich in den Subskalen „wahrgenommene Kompetenz“ ($p = .004$, Partielles $\eta^2 = .13$) und „wahrgenommene Wahlfreiheit“ ($p = .031$, Partielles $\eta^2 = .07$).

Die Klassen von Lehrkraft 1 weisen nach der Einheit signifikant bessere Werte beim „physikbezogenen Selbstkonzept“ mit großem Effekt auf ($p < .001$, Cohens $d_z = .77$), während die Klassen von Lehrkraft 2 keine signifikante Veränderung zeigen (siehe Tabelle 7.4 und Tabelle 7.5). Beim Vergleich der Mittelwerte in Abb. 7.1(c) zeigt sich, dass die Gruppen von Lehrkraft 2 einen höheren Mittelwert im Prätest aufweisen und sich zum Posttest nicht-signifikant verschlechtern. Analog zu „Fachwissen“ und „Einschätzung der LLB“ liegt auch hier nahe, dass die fehlende Wirkung des Treatments „Unterrichtseinheit“ auf einen hohen Prätestwert in den Klassen von Lehrkraft 2 zurückgeführt werden kann.

Ähnlich verhält es sich bei der „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“. Die Klassen von Lehrkraft 1 zeigen eine signifikante Verbesserung mit großem Effekt ($p < .001$, Cohens $d_z = .81$), die Klassen von Lehrkraft 2 jedoch keine signifikante Veränderung (siehe Tabelle 7.4 und Tabelle 7.5). Die genauere Betrachtung der Mittelwerte in Abb. 7.1(d) verdeutlicht jedoch, dass bei dieser Variable die Schüler*innen von Lehrkraft 2 einen niedrigen Wert im Prätest als Lehrkraft 1 aufweisen. Augenscheinlich kann die fehlende Wirkung der Einheit auf die „Selbstwirksamkeitserwartung“ in den Klassen von Lehrkraft 2 an dieser Stelle nicht auf einen hohen Prätestwert zurückgeführt werden. Möglicherweise lagen in den Klassen von Lehrkraft 2 andere Rahmenbedingungen trotz gleicher Schulform oder eine Veränderung in der Durchführung der Unterrichtseinheit vor. Um eine höhere Standardisierung zu erreichen, kommen in der Hauptstudie detaillierte Instruktionen sowie Ablaufpläne zum Einsatz.

Die Klassen von Lehrkraft 1 weisen keine signifikante Veränderung zwischen Prä- und Posttest bei der Skala „Integration“ auf (siehe Tabelle 7.4). Sie zeigen jedoch eine signifikante Verbesserung in der Subskala „emotionale Integration“ mit kleinem Effekt ($p = .041$, Cohens $d_z = .34$). Die Klassen von Lehrkraft 2 verschlechtern sich signifikant mit mittlerem Effekt in der Integration ($p = .023$, Cohens $d_z = .48$). Dieses Ergebnis widerspricht den Erwartungen und es bleibt zu klären, ob es von anderen Faktoren unabhängig von der Unterrichtseinheit beeinflusst wurde. Da das Thema der Unterrichtseinheit für die Klassen der Lehrkraft 2 bereits bekannt war, kann dies die Ursache für das Ausbleiben von Verbesserungen bei den affektiven Variablen sein, da das Thema für die Schüler*innen zu repetitiv geworden sein könnte.

Die verschiedenen Sozialformen in den beiden Gruppen (siehe Abschnitt 7.1) können die Unterschiede in den Ergebnissen nicht erklären. Lehrkraft 2 gab an, dass die Schüler*innen freiwillig in festen Gruppen gearbeitet haben, so wie es auch in den Klassen von Lehrkraft 1 der Fall war. Die Verschlechterung in allen Variablen, die die Klassen von Lehrkraft 2 verzeichneten (siehe Abb. 7.1), kann andererseits auf einen systematischen Fehler in der Durchführung der Unterrichtseinheit hindeuten. Auf Nachfrage stellte Lehrkraft 2 klar, dass sie geringe Änderungen am Ablauf der Unterrichtseinheit vorgenommen hat, um diese besser in ihren Unterrichtsverlauf integrieren zu können. Dies ist zwar aus Praxisperspektive verständlich, jedoch ist eine ordnungsgemäße Durchführung für empirische Studien unabdingbar, um reliable Ergebnisse zu erhalten.

7.3.4 Einflüsse der Anzahl und Art der bearbeiteten Experimente

Im Folgenden wird geprüft, ob die Anzahl und die Art der bearbeiteten Experimente die erhobenen Variablen beeinflusst. Dafür wurden Spearman-Korrelationen zwischen der Anzahl der Experimente und der Differenzen zwischen Prä- und Posttest der Variablen sowie Interaktionseffekte gebildeter Experimentiercluster mit den Variablen (ANOVA mit Messwiederholung) betrachtet.

Zur Analyse, ob die Art der bearbeiteten Experimente einen Einfluss auf die erhobenen Variablen hat, wurden basierend auf den Daten induktiv drei Cluster gebildet. Dabei wurden die Proband*innen anhand ihrer bearbeiteten Experimente in Cluster eingeteilt. Cluster 1 enthält alle Datensätze, die mindestens vier der fünf Experimente bearbeitet haben. Die Existenz dieses Cluster deutet auf eine Unklarheit in der Studiendurchführung hin, die die Bearbeitung von zwei Experimenten von Seiten der Schüler*innen vorschrieb. Cluster 2 enthält alle Datensätze, die ausschließlich nicht-digitale Experimente bearbeitet haben, Cluster 3 dagegen schließt die digitalen Experimente (Modellbildungsexperiment und/oder Experimentiervideo) ein. Damit ein*e Proband*in dem Cluster 3 zugeordnet wird, muss diese*r mindestens ein digitales Experiment durchgeführt haben.

Wie man in Tabelle 7.6 sieht, beeinflusst die Clusterzugehörigkeit die „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“ (insgesamt sowie alle Subskalen)

und das „Selbstkonzept“. In Abb. 7.2 sind die Mittelwerte der Skalen vor und nach der Einheit für jedes Cluster dargestellt.

Beim „Fachwissen“ in Abb. 7.2(a) sind die Unterschiede zwischen Prä- und Posttest für kein Cluster signifikant. Cluster 1 zeigt eine leichte nicht-signifikante Verschlechterung und Cluster 2 eine leichte nicht-signifikante Verbesserung. In Cluster 1 wurden alle Proband*innen eingeordnet, die mindestens vier Experimente gemacht haben. Die leichte Verschlechterung überrascht daher nicht, da um eine größere Anzahl an Experimenten zu bearbeiten, die Experimente eher kurz und damit oberflächlich durchgeführt werden müssen bevor die Doppelstunde der Experimentierphase endet. Es fällt zudem auf, dass Cluster 3 die größte Verbesserung zum Posttest verzeichnet. Proband*innen, die digitale Experimente gemacht haben, haben in der Pilotierung den größten Lernzuwachs erfahren. Dadurch darf jedoch nicht gefolgert werden, dass digitale Experimente den Fachwissenszuwachs fördern. Die Verteilung der Cluster auf die Klassen der beiden Lehrkräfte ist nicht gleichmäßig. Die Schüler*innen von Lehrkraft 1 sind vermehrt dem Cluster 2 und 3 zugeordnet, in den Klassen von Lehrkraft 2 ist vorrangig Cluster 1 vertreten. Da sich die Lehrkräfte signifikant in der Wirkung der Unterrichtseinheit unterscheiden, liegen hier offenkundig Wechselwirkungseffekte vor. Beispielsweise der Fachwissenszuwachs in den Klassen von Lehrkraft 2 war nicht signifikant und da diese hauptsächlich aus dem Cluster 1 zusammengesetzt sind, ist auch bei Cluster 1 der Fachwissenszuwachs nicht signifikant. Die unterschiedliche Verteilung der Cluster auf die Lehrkräfte muss auch bei der Interpretation der folgenden Ergebnisse berücksichtigt werden.

In der „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“ (siehe Abb. 7.2(b)) ist für Cluster 1 eine leichte nicht-signifikante Verschlechterung und für Cluster 2 eine leichte nicht-signifikante Verbesserung zu sehen. Cluster 3 hingegen zeigt eine signifikante Verbesserung vom Prä- zum Posttest. Für das „Selbstkonzept“ lässt sich eine ähnliche Entwicklung in Abb. 7.2(c) beobachten. Cluster 3 zeigt eine signifikante Verbesserung während Cluster 1 eine leichte nicht-signifikante Verschlechterung und Cluster 2 eine leichte nicht-signifikante Verbesserung aufweist. Da Cluster 3 ausschließlich in den Klassen von Lehrkraft 1 vertreten war und diese eine signifikante Verbesserung der LLB erfahren haben (siehe Tabelle 7.4) kann auch dieses Ergebnis auf den Faktor Lehrkraft und nicht das Cluster zurückgeführt werden. Bei

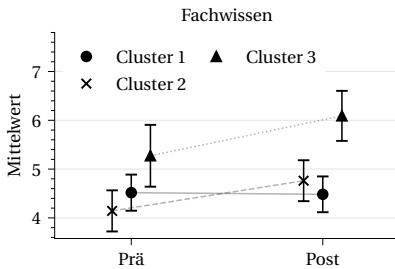
Tabelle 7.6: Einfluss der Cluster. Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung. Interaktionseffekte der Variablen und Subvariablen mit dem Faktor Cluster. Es werden Signifikanzwerte p und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet. Signifikante p -Werte ($p < .05$) sind fett hervorgehoben.

Variable	p-Wert	Partielles η^2
FW	.451	.03
LLB	<.001	.30
Soziale Einbindung	<.001	.23
Autonomieunterstützung	.002	.20
Fehlerkultur	.013	.15
KIM	.442	.03
Interesse & Vergnügen	.169	.07
Wahrg. Kompetenz	.003	.21
Wahrg. Wahlfreiheit	.393	.04
Druck & Anspannung	.360	.04
SK	.016	.14
SWE	.372	.04
Integration	.955	<.01
Emotionale Integration	.890	<.01
Soziale Integration	.500	.02
Leistungsmot. Integration	.286	.04

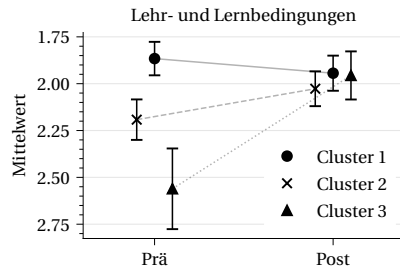
der „Selbstwirksamkeitserwartung“ in Abb. 7.2(d) sind keine Veränderungen signifikant, jedoch zeigen diesmal alle drei Cluster Verbesserungen. Für „Integration“ werden ebenfalls keine Interaktionen mit dem Cluster signifikant.

Cluster 3 ist das Cluster, in dem die Schüler*innen eins oder beide digitale Experimente bearbeitet haben und zeigt in allen vier Variablen teils signifikante Verbesserungen, jedoch enthält es die wenigsten Datensätze im Vergleich zu Cluster 1 und 2.⁴⁰ Aufgrund der geringen Stichprobengröße der Cluster müssen die Ergebnisse vorsichtig interpretiert werden. Jedoch kann gesagt

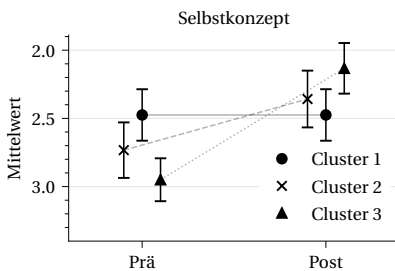
⁴⁰ $n_{\text{Cluster1}} = 31$, $n_{\text{Cluster2}} = 25$, $n_{\text{Cluster3}} = 12$



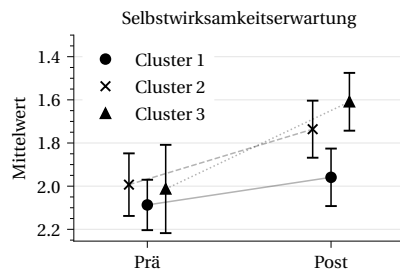
(a) Mittelwerte der Skala „Fachwissen zur Lichtbrechung“ für den Prä- und Posttest für Cluster 1, 2 und 3.



(b) Mittelwerte der Skala „Lehr- und Lernbedingungen“ für den Prä- und Posttest für Cluster 1, 2 und 3.



(c) Mittelwerte der Skala „physikbezogenes Selbstkonzept“ für den Prä- und Posttest für Cluster 1, 2 und 3.



(d) Mittelwerte der Skala „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“ für den Prä- und Posttest für Cluster 1, 2 und 3.

Abbildung 7.2: Mittelwerte im Prä- und Posttest der Datensätze getrennt nach Cluster für die Skalen „Fachwissen zur Lichtbrechung“, „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“, „physikbezogenes Selbstkonzept“ und „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“. Die Fehlerbalken entsprechen dem Standardfehler des Mittelwertes.

werden, das digitale Experimente die gemessenen Variablen vermutlich eher positiv beeinflussen. Die Entwicklung von Cluster 1, und somit von Schüler*innen, die (fast) alle Experimente trotz der Vorgaben der Studie bearbeitet haben, ist vorrangig negativ. Dies zeigt, dass es nicht immer hilfreich sein muss, möglichst viele Aufgaben zu bearbeiten. Es liegt die Vermutung nahe, dass diese Schüler*innen in der vorgegebenen Zeit von zwei Doppelstunden zwar alle Experimente ausprobieren konnten, jedoch verhinderte die Kürze der Zeit eine tiefer gehende Bearbeitung.

Des Weiteren muss erwähnt werden, dass nur 68 der 87 Schüler*innen, die an der Pilotierung teilnahmen, angegeben haben, welche Experimente sie bearbeitet haben. Nur in diesen Datensätzen konnten die Analysen zu Clustern und dem Einfluss der Anzahl der bearbeiteten Experimente erfolgen.

Um den in der Clusteranalyse vermuteten negativen Einfluss der Anzahl der bearbeiteten Experimente auf die gemessenen Variablen näher zu untersuchen, wird die Rangkorrelation nach Spearman betrachtet. Nach COHEN (1988) bedeutet ein Spearmans $\rho = .10$ eine schwache, $\rho = .30$ eine moderate und $\rho = .50$ eine starke Korrelation. In der Pilotierung des Konzeptes wurde eine unterschiedliche Anzahl an Experimenten von den Schüler*innen bearbeitet, obgleich die Studie die Bearbeitung von zwei Experimenten vorgab. Die Korrelation der Anzahl der bearbeiteten Experimente mit den Variablen ist in Tabelle 7.7 zu sehen.

„Fachwissen“ korreliert negativ und moderat mit der Anzahl der bearbeiteten Experimente ($p = .033$, $\rho = -.273$). Es könnte zwar ein positiver Zusammenhang zwischen der Anzahl der bearbeiteten Experimente und dem Wissenszuwachs der Schüler*innen vermutet werden, jedoch nur, wenn diese auch gewissenhaft und vollständig durchgeführt werden. Es ist wahrscheinlicher, dass die zeitliche Vorgabe der Unterrichtseinheit von zwei Doppelstunden eingehalten wurde und die Schüler*innen, die in dieser Zeit so viel wie möglich ausprobieren wollten, die Experimente eher oberflächlich und schnell bearbeitet haben. Da in den Klassen von Lehrkraft 2 mit Ausnahme von wenigen Proband*innen, mindestens vier Experimente bearbeitet wurden, könnte das den fehlenden Fachwissenszuwachs in diesen Klassen erklären. Es liegen allerdings keine Daten oder zusätzliche Informationen vor, die diese These stützen können.

Tabelle 7.7: Korrelationen der Variablen (Differenz zwischen Prä- und Posttest) mit der Anzahl der bearbeiteten Experimente. Signifikante p-Werte sind fett hervorgehoben. Der Korrelationskoeffizient ist Spearmans ρ .

Variable	p-Wert	Korrelationskoeffizient ρ
FW	.033	-.273
LLB	<.001	-.448
Soziale Einbindung	<.001	-.519
Autonomieunterstützung	<.001	-.440
Fehlerkultur	.239	-.157
KIM	.213	-.171
Interesse & Vergnügen	.033	-.291
Wahrg. Kompetenz	<.001	-.451
Wahrg. Wahlfreiheit	.437	-.110
Druck & Anspannung	.397	.120
SK	.010	-.337
SWE	.030	-.295
Integration	.597	-.069
Emotionale Integration	.871	-.021
Soziale Integration	.546	-.079
Leistungsmot. Integration	.303	.134

Die „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“ korreliert stark ($p < .001$, $\rho = -.448$), das „Selbstkonzept“ moderat ($p < .010$, $\rho = -.337$) sowie die „Selbstwirksamkeitserwartung“ moderat ($p = .030$, $\rho = -.295$) negativ mit der Anzahl der bearbeiteten Experimente. Für die „intrinsische Motivation“ ist nur eine Korrelation der Subskalen „Interesse & Vergnügen“ und „wahrgenommene Kompetenz“ mit der Anzahl der Experimente feststellbar. Auch hier ist die Korrelation negativ. Für diese Variablen bedeutet es somit, dass je mehr Experimente gemacht wurden, die Verschlechterung in diesen Variablen größer ist. Wie bei der Analyse der Cluster liegt auch hier die Vermutung nahe, dass die Ergebnisse von der Zugehörigkeit zur Lerngruppe beeinflusst werden. In den Klassen von Lehrkraft 2 wurden bis auf wenige Ausnahmen

mindestens vier Experimente bearbeitet. Da die Klassen dieser Lehrkraft in der Entwicklung des „Fachwissens“, der „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“, des „Selbstkonzeptes“ und der „Selbstwirksamkeitserwartung“ keine signifikante Entwicklung oder eine Verschlechterung erfahren haben, ist die negative Korrelation zwischen der Anzahl der Experimente und den erhobenen Variablen erwartbar.

7.3.5 Ergebnisse aus den Interviews und Lehrkräftebefragungen

In den beiden leitfadengestützten Interviews wurden die Schüler*innen zu Problemen und Verständnisschwierigkeiten befragt. Zudem konnten sie angeben, was ihnen Spaß oder keinen Spaß gemacht hat, wie sie sich fühlten und was sie verbessern würden. In beiden Interviews wurden keinerlei Probleme, Verständnisschwierigkeiten, Verbesserungswünsche sowie keine Momente, die ihnen *keinen* Spaß bereitet haben, genannt. Diese durchgehend positiven Rückmeldungen könnten einerseits auf die vermutlich willkommene Abwechslung zu dem unter Covid-Bedingungen vorherrschenden Frontalunterricht sein, andererseits könnte es möglicherweise auch darin begründet sein, dass die Schüler*innen der interviewenden Lehrkraft kein negatives Feedback geben wollten. Interessant in den Interviews sind die Antworten der Schüler*innen auf die Frage, was ihnen besonders Spaß gemacht habe. Während im ersten Interview die Gruppenarbeit positiv hervorgehoben wurde, betonte der*die Interviewte im zweiten Interview die Wahlfreiheit:

„Also generell das Experimentieren und [...] zum Beispiel bei den Aquaperlen, dass wir dort auch frei entscheiden konnten, was wir experimentieren[...].“ (Transkript Interview 2)

Durch die fehlende Nennung von Verbesserungsmöglichkeiten konnten die Ergebnisse aus den Interviews nicht zu einer möglichen Weiterentwicklung des Konzeptes und der Materialien beitragen.

Ferner gaben die Lehrkräfte an, dass die eingesetzten Testinstrumente in Form von Fragebögen gut funktionierten. Rückgemeldete Formatierungs- und Rechtschreibfehler wurden in der Hauptstudie behoben.

7.4 Konsequenzen für die Hauptstudie

Die Analyse zu den Clustern sowie zu den Zusammenhängen zwischen der Anzahl der bearbeiteten Experimente und der gemessenen Variablen war ab-

hängig von der Angabe der Schüler*innen, welche Experimente sie bearbeitet haben. Diese Angaben waren zum einen in der Pilotierung unvollständig, zum anderen insgesamt fehleranfällig, da die Lehrkräfte angaben, dass dieser Teil nicht immer gewissenhaft ausgefüllt wurde. Zudem legen die Ergebnisse nahe, dass der Einfluss der Lehrkraft stärker ist als die Zugehörigkeit zu einem Cluster oder die Anzahl der bearbeiteten Experimente. In der Hauptstudie wird auf die Erhebung der bearbeiteten Experimente verzichtet und anstelle auf die Vorgaben der Studiendurchführung (Bearbeitung von zwei Experimenten) mit Nachdruck verwiesen.

Während der leitfadengestützten Interviews gaben die Schüler*innen lediglich oberflächliche Kommentare zu den Materialien ab. Daher wurden fast keine ihrer Bemerkungen für die weitere Entwicklung der Unterrichtseinheit verwendet. Auf Basis der Rückmeldungen der Lehrkräfte wurden kleinere Anpassungen in den Experimentieranleitungen sowie in den Fragebögen vorgenommen. Dazu gehört beispielsweise der Verzicht auf Paraffinöl beim Freihandexperiment, da dieses in den Klassen zu größeren Verschmutzungen in den Fachräumen geführt hat.

Aufgrund der Netzwerkwerkprobleme in den Klassen von Lehrkraft 1, weswegen das „Digitalisierte Experiment“ kaum durchgeführt werden konnte, wurde in der Hauptstudie das Experimentiervideo auf den ausgeliehenen Tablets zusätzlich als Datei bereit gestellt.

Angesichts der Ergebnisse in Abschnitt 7.3 ist zu vermuten, dass die kurze Unterrichtseinheit von zwei Doppelstunden sich nicht auf die Integration der Schüler*innen auswirken kann und infolgedessen wird diese Skala in der Hauptstudie nicht eingesetzt.

Der Sachverhalt, dass die Schüler*innen in der Pilotierung nicht nur zwei, sondern eins bis fünf Experimente bearbeitet haben, deutet auf eine fehlerhafte Durchführung der Unterrichtseinheit seitens der Lehrkräfte hin. In der Hauptstudie wird daher zusätzlich zu mündlichen Instruktionen ein Lehrkräftebegleitmaterial (siehe Anhang C.1) bereitgestellt, welches die korrekte Durchführung der Studie inklusive der Unterrichtseinheit sicherstellen soll. Auch führt die augenscheinliche Abhängigkeit des Erfolgs einer solchen Unterrichtseinheit von der einzelnen Lehrkraft zu der Schlussfolgerung, dass nicht nur ein gutes Konzept, sondern auch eine Lehrkräftefortbildung bzw.

ein Lehrkräftebegleitmaterial mit detaillierten Instruktionen dazu erforderlich ist. Beides wird in der Hauptstudie angeboten.

Kapitel 8

Ergebnisse der Hauptuntersuchung

Das folgende Kapitel präsentiert die Ergebnisse der Hauptstudie. Teile der zugrunde liegenden Rohdaten wurden bereits in früheren Publikationen genutzt, siehe dazu SÜHRIG et al. (2023a, 2023b). Es wird betont, dass die Stichprobe seitdem erweitert wurde, um neue Daten einzubeziehen. Zudem wird darauf hingewiesen, dass die Daten erneut ausgewertet wurden, teilweise unter Verwendung anderer Methoden.

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Hauptstudie dargestellt, die die Auswirkung von Wahlfreiheit beim Experimentieren auf Schüler*innen- und Lehrkräfteebene untersucht. Auf Schüler*innenebene werden die Daten mithilfe von Fragebögen erfasst und varianzanalytisch ausgewertet. Zunächst werden dafür die eingesetzten Skalen einer Reliabilitätsanalyse unterzogen und die Voraussetzungen der statistischen Analysen, die in Abschnitt 5.2 beschrieben sind, für die Stichprobe der Hauptstudie (siehe Abschnitt 5.4) geprüft. Anschließend wird die Auswertemethodik erläutert und die Ergebnisse der Analysen dargestellt.

Im letzten Teil des Kapitels werden die begleitenden Reflexionsbögen der Lehrkräfte ausgewertet und ausgewählte Arbeitsblätter der Schüler*innen qualitativ betrachtet.

8.1 Reliabilitätsanalyse

Bevor die Skalen gebildet werden, wurden sie einer Reliabilitätsanalyse unterzogen, um die interne Konsistenz zu prüfen (DÖRING & BORTZ, 2016).

Dabei wurden für jede Skala (Prä- und Posttest) das Cronbachs Alpha als Reliabilitätsmaß sowie für jedes Item einer Skala als Itemtrennschärfe r_{it} die korrigierte Item-Skala-Korrelation errechnet sowie das Cronbachs Alpha, wenn das Item weggelassen wird (α_i).

8.1.1 Interne Konsistenz

Cronbachs Alpha bestimmt die durchschnittliche Korrelation zwischen den Items einer Skala und stellt damit ein Maß für die interne Konsistenz einer Skala dar (DÖRING & BORTZ, 2016). Cronbachs Alpha erhöht sich mit steigen der Anzahl an Items und Item-Interkorrelationen und kann Werte zwischen -1 und +1 annehmen.

Die Cronbachs Alphas der eingesetzten Skalen in Tabelle 8.1 weisen sowohl im Prä- als auch im Posttest zufriedenstellende Werte auf. Reliabilitätskoeffizienten um .90 gelten laut KLINE (2016) als „excellent“, solche um .80 als „good“ und solche um .70 als „adequate“. Nach BÜHNER (2011, zitiert nach KRÜGER et al., 2014) sollen die Werte über .70 liegen. Dies wird jedoch nicht bei den Skalen „physikbezogenes Selbstkonzept“ (Prä: $\alpha = .50$, Post: $\alpha = .51$) und „Fachwissen zur Lichtbrechung“ erreicht (Prä: $\alpha = .56$, Post: $\alpha = .67$). Bei der Skala „physikbezogenes Selbstkonzept“ handelt es sich mit nur drei Items um eine sehr kurze Skala, was das niedrige Cronbachs Alpha erklärt. Zudem ist zu beachten, dass bei latenten Variablen⁴¹ wie Selbstkonzept niedrigere Reliabilitäten bei hinreichend großen Stichproben akzeptiert werden (LITTLE et al., 1999, zitiert nach KLINE, 2016). Die Skala „Fachwissen zur Lichtbrechung“ ist im Gegensatz zu den anderen Likert-skalierten Skalen ein Single-Choice Fachwissenstest. Vor diesem Hintergrund sind die niedrigen Cronbachs Alpha Werte als noch akzeptabel zu interpretieren (SCHECKER, 2014). Die Skalen mit Ausnahme von „Fachwissen zur Lichtbrechung“ wurden mit Mittelwerten (Durchschnittsscore) gebildet, um mögliche Verzerrungen durch fehlende Werte zu vermeiden (DÖRING & BORTZ, 2016). Die Skala „Fachwissen zur Lichtbrechung“ wurde über den Summenscore gebildet, da es sich um einen Wissenstest handelt. Die Skalen „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“ und „intrinsische Motivation (KIM)“ sind mehrdimensionale Skalen.

41 Hierbei handelt es sich um nicht direkt messbare Variablen.

Daher werden für die Datenanalyse jeweils eindimensionale Subskalen aus den Teilmengen der Items gebildet (DÖRING & BORTZ, 2016).

8.1.2 Itemtrennschärfe

Die Trennschärfe r_{it} ist ein Maß dafür, wie gut ein einzelnes Item das Zielkonstrukt der Skala misst (DÖRING & BORTZ, 2016). Sie ist definiert als die Korrelation der Beantwortung eines einzelnen Items einer Skala mit dem Summenwert der restlichen Skala (FISSENI, 1990, zitiert nach DÖRING, 2023). Nach WEISE (1975, S. 219) ist ein Wert unter .30 als niedrig, ein Wert zwischen .30 und .50 als mittel und ein Wert über .50 als hoch einzustufen.

Die Itemtrennschärfen für die Skala „Lehr- und Lernbedingungen“ in Tabelle A.3 weisen bis auf Item 1 („Ich empfand die Stimmung in der Klasse als angenehm.“) und Item 17 („Es beteiligten sich nur die guten Schülerinnen und Schüler.“) im Prätest Werte über .30 auf. Das Cronbachs Alpha bleibt unverändert, auch wenn diese Items weggelassen werden. Aus diesem Grund werden beide Items in der Skala belassen.

In der Skala „Selbstkonzept“ (Tabelle A.4) besitzt Item 1 („Es hat für mich wenig Sinn, dass ich mich in Physik anstrengende, da ich in diesem Fach doch nicht viel erreichen kann.“) sowohl im Prä- als auch Posttest eine geringe Trennschärfe (Prä: $r_{it} = .19$, Post: $r_{it} = .15$). Aufgrund der Kürze der Skala wird das Item dennoch darin belassen, wenngleich sich durch das Weglassen des Items das Cronbachs Alpha der Skala erhöhen würde. Die Reliabilität einer

Tabelle 8.1: Cronbachs Alpha der Skalen.

Skala	Anzahl der Items	Cronbachs Alpha	
		Prätest	Posttest
Lehr- und Lernbedingungen	17	.83	.85
Physikbezogenes Selbstkonzept	3	.50	.51
Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren	8	.79	.84
Fachwissen zur Lichtbrechung	11	.56	.67
Intrinsische Motivation	12	–	.77
Wahrgenommene Wahlfreiheit	7	–	.84

Skala mit nur zwei Items mag zwar aufgrund statistischer Kennwerte hoch sein, dennoch ist es fraglich, ob ein Konstrukt mit nur zwei Items überhaupt abgebildet bzw. erhoben werden kann.

Alle Werte der Itemtrennschärfen für die Skala „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“ (siehe Tabelle A.5) liegen über .30. Es wird daher kein Item weggelassen.

Beim „Fachwissen“ in Tabelle A.6 liegen einige Items unter einer Trennschärfe von .30. Aufgrund der Besonderheit von Wissenstests (siehe oben) bleibt diese Skala unverändert. Die Itemtrennschärfen werden lediglich der Vollständigkeit halber angegeben.

Die Itemtrennschärfen für die KIM in Tabelle A.7 weisen bis auf Item 12 („Ich hatte Bedenken, ob ich das Experimentieren gut hinbekomme.“) Werte über .30 auf. Lässt man dieses Item weg, erhöht sich das Cronbachs Alpha der Skala von .77 auf .78. Da dies keinen bedeutenden Unterschied darstellt, wird das Item in der Skala belassen.

Alle Werte der Itemtrennschärfen für die Skala „wahrgenommene Wahlfreiheit“ (siehe Tabelle A.8) liegen über .30. Deshalb wird kein Item ausgeschlossen.

Insgesamt ergibt sich, dass keine Items aus den jeweiligen Skalen weggelassen werden und die Skalen für die weiteren Analysen in den vorliegenden Formen gebildet werden können.

8.2 Prüfung der Voraussetzungen

Zu den Voraussetzungen für ein- oder zweifaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung zählen nach BÜHNER und ZIEGLER (2009) das Intervallskalenniveau der abhängigen Variablen, Normalverteilung der abhängigen Variablen zu jedem Messzeitpunkt (Prä - und Posttest), Homogenität der Gruppenvarianzen (zweifaktorielle ANOVA), Varianzen und Kovarianzen, Unabhängigkeit der Beobachtungen in jeder Gruppe (einfaktorielle ANOVA) und Balanciertheit des Designs.

8.2.1 Intervallskalierung

Die abhängigen Variablen wurden in der Studie über Likert-Skalen erhoben. Nach DÖRING und BORTZ (2016) haben Likert-Skalen Intervallskalenniveau.

8.2.2 Normalverteilung

Nach dem Shapiro-Wilk-Test und Kolmogorov-Smirnov-Test sind die Daten nicht normalverteilt. Die eingesetzten Analyseverfahren sind jedoch relativ robust gegenüber einer Verletzung der Normalverteilung (BÜHNER & ZIEGLER, 2009). Nach BORTZ und SCHUSTER (2010) kann in Varianzanalysen auf die Überprüfung der Normalverteilung verzichtet werden, wenn die Stichprobe ausreichend groß ist ($N \geq 30$ für jede Gruppe), da nach dem zentralen Grenzwerttheorem die Verteilung von Mittelwerten bei wachsendem Stichprobenumfang in eine Normalverteilung übergeht. Durch die ausreichend große Stichprobengröße kann daher eine normalverteilte Stichprobenverteilung angenommen werden.

Da bei größeren Stichproben analytische Tests auf Normalverteilung wie Shapiro-Wilk und Kolmogorov-Smirnov oftmals signifikant werden, da der berechnete p-Wert von der Größe der Stichprobe beeinflusst wird, kann die Normalverteilung zusätzlich graphisch mit Q-Q-Plots (Quantil-Quantil-Diagramm) überprüft werden. In einem Q-Q-Plot können die Quantile einer Stichprobenverteilung und der Normalverteilung auf den Achsen aufgetragen werden, um die Ähnlichkeit zwischen der Stichprobenverteilung und der Normalverteilung festzustellen (KOHN & ÖZTÜRK, 2022). In den mit SPSS erzeugten Q-Q-Plots (beispielhaft für die Skala „Fachwissen“ siehe Abb. A.2) wird ersichtlich, dass die Verteilung der Variablen einer Normalverteilung folgt. Auch für die Berechnungen des Pearson-Korrelationskoeffizienten r der Abschnitte 8.4, 8.6.4 und 9.3.3 kann damit die Normalverteilung angenommen werden.

8.2.3 Homogenität und Sphärizität

Der Levene-Test prüft die Gleichheit der Gruppenvarianzen (BÜHNER & ZIEGLER, 2009). Er wird in keiner Variable mit Ausnahme der Subskala „Interesse und Vergnügen“ der „intrinsischen Motivation“, die mit einer einfaktoriellen ANOVA analysiert wird, signifikant. Die einfaktorielle Varianzanalyse gilt als robust gegenüber der Verletzung der Varianzhomogenität (BÜHNER & ZIEGLER, 2009), dennoch wird ein $F_{\max}$ -Test durchgeführt (TABACHNICK & FIDELL,

2007), um zu prüfen, ob ein Signifikanztest durchgeführt werden darf.⁴² Der $F_{\max}$ -Test ergibt, dass von der Gleichheit der Gruppenvarianzen ausgegangen und ein Signifikanztest durchgeführt werden darf.

Die Homogenität der Varianzen (Sphärizität) wird im Allgemeinen mit dem Mauchly-Test untersucht (BÜHNER & ZIEGLER, 2009). Da der Innersubjektfaktor⁴³ nur zwei Stufen hat, kann der Mauchly-Test nicht berechnet werden, da die Sphärizität bei zwei Stufen immer gegeben ist und nie verletzt sein kann (RASCH, 2021). Um die Gleichheit der Kovarianzmatrizen zu überprüfen, wird ein Box-Test gerechnet. Dieser Test prüft, ob die Kovarianzmatrizen der abhängigen Variablen in den beiden Gruppen gleich sind (VERMA, 2015). Wenn die Kovarianzmatrix über die Gruppen gleich ist, gilt die Annahme der Homogenität der Kovarianzmatrizen als erfüllt und die zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung kann gerechnet werden. Andernfalls können die Ergebnisse, insbesondere die Interaktionseffekte verzerrt sein. Da der Test sehr sensibel ist, schlägt VERMA (2015) ein Signifikanzniveau von .001 vor. Die Homogenität der Kovarianzmatrizen war für alle Skalen und Subskalen gemäß dem Box-Test gegeben.

8.2.4 Unabhängigkeit

Eine Unabhängigkeit der Beobachtungen liegt ebenfalls vor, da der Messwert der einen Gruppe weder abhängt von oder beeinflusst wird durch den Messwert der anderen Gruppe. Dies ist gegeben, da die beiden Gruppen (Intervention und Vergleich) unterschiedliche Befragungspersonen enthalten.

8.2.5 Balanciertheit des Designs

Das Design gilt als balanciert, da für jede Versuchsperson zu jedem Messzeitpunkt Daten vorliegen und Personen mit fehlenden Werten nicht berücksichtigt werden (BÜHNER & ZIEGLER, 2009). Dies wird über einen Fallausschluss in der Analyse realisiert, der bei SPSS in der ANOVA standardmäßig eingestellt ist.

42 Bei einem $F_{\max}$ -Test wird die größte durch die kleinste aufgetretene Gruppenvarianz dividiert. Der Wert, der sich daraus ergibt, darf nicht größer als 10 sein. Der Test ergibt in diesem Fall einen Wert von 1.81, der weit unter dem kritischen Wert von 10 liegt.

43 Der Innersubjektfaktor ist die Messwiederholung.

8.2.6 Ausreißer

Im Datensatz befinden sich bei den Variablen keine extremen Ausreißer (siehe Abb. A.3 und Abb. A.4). „Fachwissen“ (Abb. A.3(a)) enthält fünf leichte Ausreißer, „Lehr- und Lernbedingungen“ (Abb. A.3(b)) 12 leichte Ausreißer, „Selbstkonzept“ (Abb. A.3(c)) und „wahrgenommene Wahlfreiheit“ (Abb. A.4) keine Ausreißer, „Selbstwirksamkeitserwartung“ (Abb. A.3(d)) sieben leichte Ausreißer und die „intrinsische Motivation“ (Abb. A.4) neun leichte Ausreißer, die allesamt im Datensatz belassen werden.

8.3 Umgang mit fehlenden Werten

Fehlende Werte können durch das Fehlen der Befragungsperson an einem Messzeitpunkt entstehen. Oft werden auch einzelne Fragen oder Items unbeantwortet gelassen, was in einzelnen fehlenden Werte bei einer Befragungsperson („Missings“) resultiert (DÖRING & BORTZ, 2016). Dies kann entstehen, wenn Items übersehen oder übersprungen werden sowie eine ungültige Antwort abgegeben wird (DÖRING & BORTZ, 2016). Bei der Aufbereitung des Datensatzes wurden, wie bei DÖRING und BORTZ (2016) vorgeschlagen, die fehlenden Werte durch Codes für Missings kenntlich gemacht. In Statistikprogrammen wie SPSS werden fehlende Werte fallweise oder listenweise ausgeschlossen. Ein listenweiser Fallausschluss bedeutet laut IBM, dass Fälle mit fehlenden Werten aus allen Analysen ausgeschlossen werden. Bei einem paarweisen Fallausschluss hingegen werden Fälle ohne fehlenden Werte für Variablen in einer Gruppe bzw. Zelle in die Analyse dieser Gruppe einbezogen. Für verschiedene Berechnungen werden somit unterschiedliche Teilstichproben verwendet (DORSCH & WIRTZ, 2020). Wann immer in den Analysen möglich, wurde sich für den paarweisen Fallausschluss entschieden, da dieser weniger Befragungspersonen bzw. Datensätze ausschließt.

8.4 Umgang mit Störvariablen

Als Voraussetzung, um Gruppenunterschiede bei den abhängigen Variablen auf die Intervention bzw. das Treatment zurückführen zu können, sind vergleichbare Ausgangsbedingungen nötig (DÖRING & BORTZ, 2016). Da es sich bei der vorliegenden Studie nicht um ein Laborexperiment, sondern um eine quasi-experimentelle Feldstudie handelt, müssen Störvariablen identifiziert werden. Diese gehen als Kontrollvariablen (Kovariaten) in die Analyse ein,

um deren Einfluss aus den abhängigen Variablen herauszurechnen (DÖRING & BORTZ, 2016). Kovariaten müssen mindestens intervallskaliert sein.

Da die Stichprobe heterogen in Bezug auf Klassenstufen und Schulformen ist, wurde begleitend die kognitiven Fähigkeiten der Schüler*innen durch den KFT (siehe Abschnitt 6.1.7) erhoben, da vermutet wurde, dass diese sich auf den Fachwissenszuwachs in den Gruppen auswirken können.

Die rechnerische Identifikation möglicher Störvariablen erfolgt mithilfe einer bivariaten Korrelationsanalyse. Diese trifft Aussagen über die Stärke und Richtung eines Zusammenhangs zwischen zwei Variablen mithilfe eines Korrelationskoeffizienten (DÖRING & BORTZ, 2016). In Tabellen A.9 und A.10 sind in einer Kreuzkorrelationstabelle die jeweiligen Produkt-Moment-Korrelationen bzw. Pearson-Korrelationen r angegeben. Diese können einen Wertebereich zwischen -1 und +1 annehmen. Nach COHEN (1988, S. 83) bedeutet ein Korrelationskoeffizient $r = .10$ eine schwache, $r = .30$ eine moderate und $r = .50$ eine starke Korrelation.

Wie vermutet, ist in Tabelle A.9 eine leichte bis moderate Korrelation zwischen „Fachwissen“ und den beiden Skalen des KFTs V3 (Wortanalogien) und N2 (Figurenanalogien) zu sehen. Daher werden V3 und N2 als Kovariaten bei den Untersuchungen des „Fachwissens“ eingeführt.

8.5 Randomisierung

Randomisierung bedeutet, dass die Befragungspersonen zufällig der Interventions- oder Vergleichsgruppe zugewiesen werden (DÖRING & BORTZ, 2016). Um die erfolgreiche Randomisierung zu überprüfen, wurde untersucht, ob sich die Prätestwerte der beiden Gruppen in den Variablen FW, LLB, SK und SWE unterscheiden. In ungepaarten t -Tests sowie einer einfaktoriellen ANCOVA ohne Messwiederholung beim „Fachwissen“ konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen Interventions- und Vergleichsgruppe im Prätest in Bezug auf diese Variablen festgestellt werden. Darauf basierend kann von einer erfolgreichen Randomisierung ausgegangen werden.

8.6 Ergebnisse der Schüler*innenfragebögen

Die Untersuchung der Hypothesen erfordert einen zweifaktoriellen Plan (2x2-Plan oder Zweigruppen-Prätest-Posttest-Plan). Für die statistische Aus-

wertung dieses Planes wird eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (siehe Abschnitt 5.3.3) auf dem Faktor Messzeitpunkt von DÖRING und BORTZ (2016) empfohlen. Mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse können drei Effekte überprüft werden: zwei Haupteffekte und einen Interaktionseffekt (DÖRING & BORTZ, 2016). Die Haupteffekte zeigen, ob der Faktor Gruppe oder Messwiederholung Unterschiede in den Mittelwerten der ANOVA erzeugen. Der Interaktionseffekt prüft eine wechselseitige Beeinflussung beider Faktoren (BÜHNER & ZIEGLER, 2009). Der Effekt des Treatments bzw. der Intervention wird hierbei über die Differenz der Veränderung in der Interventions- und der Vergleichsgruppe (ROSSI et al., 2004) – dementsprechend über eine signifikante Interaktion zwischen dem Gruppenfaktor und dem Messwiederholungsfaktor (Interaktionseffekt) – nachgewiesen. Ein signifikanter Interaktionseffekt bedeutet, dass sich die Interventionsgruppe überzufällig verschieden von der Vergleichsgruppe verhält (DÖRING & BORTZ, 2016). Die zwei Faktoren der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung sind der Gruppenfaktor und der Messwiederholungsfaktor. Sie bestimmt somit den Einfluss des Gruppen- und Messwiederholungsfaktors (die unabhängigen Variablen) auf abhängige Variablen („Fachwissen“, „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“, „physikbezogenes Selbstkonzept“ und „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“) (BÜHNER & ZIEGLER, 2009).

8.6.1 Auswertemethodik

Signifikanzen werden über p-Werte abgebildet, welche die Wahrscheinlichkeit angeben, dass die Nullhypothese gilt (SCHÄFER, 2016). Ergebnisse sind signifikant, wenn das Signifikanzniveau unterschritten wird ($p < .05$) und damit die Nullhypothese abgelehnt werden kann. Bei größeren p-Werten wird die Nullhypothese beibehalten und die Ergebnisse gelten als statistisch nicht signifikant (DORSCH & WIRTZ, 2020). Zusätzlich wird in den Ergebnissen der F-Wert zusammen mit den Freiheitsgraden der Varianzquellen angegeben. Dies dient vorrangig zur Vollständigkeit, da der F-Wert ebenfalls eine statistische Signifikanz anzeigen kann. Er nimmt einen Wert von 1 an, wenn es keinen systematischen Einfluss der experimentellen Variation gibt und daher die Alternativhypothese abgelehnt werden muss, und Werte über 1, wenn ein systematischer Einfluss der experimentellen Variation existiert und

sich die Gruppenmittelwerte nicht nur aufgrund unsystematischer Einflüsse unterscheiden (RASCH et al., 2014b).

Als Maß für die Effektstärke wird das partielle η^2 angegeben. Dabei entspricht ein Wert von .01 einem kleinen, .06 einem mittleren und .14 einem großen Effekt (DÖRING & BORTZ, 2016, S. 820). Dabei runden die Autoren die Werte von COHEN (1988). COHEN (1988, S. 285 - 287) ordnet einem partiellen η^2 von .0099 (bzw. .01) einen kleinen, .0588 (bzw. .06) einen mittleren und .1379 (bzw. .14) einen großen Effekt zu.

Wie in Abschnitt 5.1 erwähnt, ist die Annahme der Nullhypothese bei nicht-signifikanten Ergebnissen nur bei ausreichender Teststärke erlaubt. Bei einem nicht signifikanten Ergebnis besteht ebenfalls die Möglichkeit, dass der gewählte Signifikanztest aufgrund mangelnder Teststärke von Anfang an keine signifikanten Ergebnisse liefern konnte (DÖRING & BORTZ, 2016). Um die Nullhypothese bei nicht-signifikanten Ergebnissen akzeptieren zu können, muss die Beta-Fehler-Wahrscheinlichkeit unter einem vorher festgelegten Beta-Fehler-Niveau liegen. Die Beta-Fehler-Wahrscheinlichkeit bezeichnet die Wahrscheinlichkeit fälschlicherweise die Nullhypothese anzunehmen, obwohl in der Stichprobe die Alternativhypothese zutrifft (DÖRING & BORTZ, 2016). DÖRING und BORTZ (2016) empfehlen ein Beta-Fehler-Niveau von $\beta = 20\%$ und damit eine Teststärke von 80% bzw. 0.8. Wird diese überschritten, kann die Nullhypothese angenommen werden. Zur Berechnung der Teststärke wird das Programm G*Power verwendet. Die in SPSS ausgegebene Teststärke („Beobachtete Trennschärfe“) fällt meist geringer aus, da die mittlere Korrelation zwischen den Messzeitpunkten nicht berücksichtigt wird (BÜHNER & ZIEGLER, 2009).

8.6.2 Ergebnisse insgesamt

Mittels einer zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung wurde zunächst geprüft, inwieweit die Treatmentbedingung unterschiedliche Auswirkungen auf die Gruppen hinsichtlich der Veränderungen der Variablen hatte. Es zeigt sich in Tabelle 8.2 und Tabelle 8.3, dass die Gruppen geringfügige Unterschiede in Bezug auf die Entwicklung des „physikbezogenen Selbstkonzepts“ aufweisen ($p = .022$, $\eta^2 = .01$). Interessanterweise zeigt sich in Abschnitt 8.6.3, dass die Vergleichsgruppe eine tendenziell stärkere Entwicklung aufwies.

Tabelle 8.2: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung. Es werden Signifikanzwerte p und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet. Signifikante p-Werte sind fett hervorgehoben.

Variable	p-Wert	Partielles η^2
Fachwissen	.067	.01
Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen	.742	<.01
Physikbezogenes Selbstkonzept	.022	.01
Selbstwirksamkeit beim Experimentieren	.242	<.01

Tabelle 8.3: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung für die Subskalen der Skala „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“. Es werden Signifikanzwerte p und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet.

Variable	p-Wert	Partielles η^2
Wahrgenommene soziale Einbindung	.542	<.01
Wahrgenommene Autonomieunterstützung	.318	<.01
Wahrgenommene Fehlerkultur	.934	<.01

Um die Skalen „intrinsische Motivation“ und „wahrgenommene Wahlfreiheit“ zu analysieren, wurde eine einfaktorielle ANOVA durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8.4 und Tabelle 8.5 dargestellt. In dieser Untersuchung ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen bezüglich der Skala „wahrgenommene Wahlfreiheit“. Hierbei zeigt sich, dass die Interventionsgruppe ihre Wahlfreiheit signifikant höher einschätzt als die Vergleichsgruppe. Dies deutet darauf hin, dass die Interventionsgruppe ein Bewusstsein über ihre Wahlmöglichkeiten zeigt.

Hingegen stellt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen in Bezug auf die allgemeine „intrinsische Motivation“ heraus. Dennoch zeigt sich ein signifikanter Unterschied in der Subskala „Interesse & Vergnügen“.

Tabelle 8.4: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA. Es werden Signifikanzwerte p und als Effektstärken η^2 berichtet. Signifikante p-Werte sind fett hervorgehoben.

Variable	p-Wert	η^2
Intrinsische Motivation	.464	<.01
Wahrgenommene Wahlfreiheit	.005	.01

Tabelle 8.5: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA für die Subskalen der Skala „intrinsische Motivation“. Es werden Signifikanzwerte p und als Effektstärken η^2 berichtet. Signifikante p-Werte sind fett hervorgehoben.

Variable	p-Wert	η^2
Interesse und Vergnügen	<.001	.02
Wahrgenommene Kompetenz	.434	<.01
Wahrgenommene Wahlfreiheit	.658	<.01
Druck und Anspannung	.450	<.01

Es ist festzustellen, dass die Interventionsgruppe, die Wahlmöglichkeiten hatte, ein höheres Maß an Interesse aufweist als die Vergleichsgruppe.

8.6.3 Ergebnisse nach Skala

In den Tabellen zu den deskriptiven Statistiken sind in den folgenden Abschnitten die jeweiligen Stichprobengrößen für die Interventions- und Vergleichsgruppe zu finden. Die beiden Gruppen sind annähernd gleich groß. Die Vergleichsgruppe fällt etwas kleiner aus und entspricht je nach Skala bzw. Variable ungefähr 86%-96% der Größe der Interventionsgruppe.

Fachwissen

Es wurde eine zweifaktorielle ANOVA durchgeführt, um die Auswirkungen des Messzeitpunktes und der Gruppe (Intervention und Vergleich) auf die Ergebnisse des „Fachwissens zur Lichtbrechung“ zu analysieren. Die Mittelwerte und Standardabweichungen für das „Fachwissen“ sind in Tabelle 8.6 aufgeführt.

Die Mittelwerte beider Gruppen unterscheiden sich im Prätest voneinander, was auch in Abb. 8.1(a) ersichtlich ist. Der Mittelwert der Interventi-

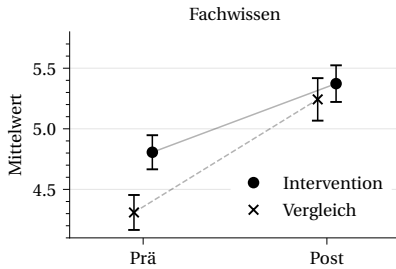
Tabelle 8.6: Deskriptive Statistiken für die Skala „Fachwissen“. Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD) und die Gruppengrößen bzw. Anzahl der Versuchspersonen (N) angegeben.

Messzeitpunkt	Gruppe	M	SD	N
Prä	Intervention	4.81	2.35	279
	Vergleich	4.31	2.23	239
	Gesamt	4.58	2.31	518
Post	Intervention	5.37	2.52	279
	Vergleich	5.24	2.71	239
	Gesamt	5.31	2.61	518

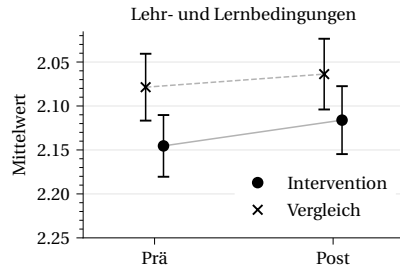
onsgruppe ist dabei höher als der der Vergleichsgruppe, was ein besseres Ergebnis im Fachwissenstest für die Interventionsgruppe vor dem Treatment bedeutet. Dies kann u.a. an dem höheren Anteil an Gymnasialklassen in der Interventionsgruppe begründet liegen (siehe Abschnitt 5.4.1). Im Post-test erreichen beide Gruppen ähnliche Mittelwerte im „Fachwissen“. Die Vergleichsgruppe hat den Vorsprung der Interventionsgruppe aufgeholt.

Die Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung in Tabelle 8.7 zeigen keinen signifikanten Haupteffekt für die Gruppe ($F(1, 516) = 2.66, p = .104$, partielles $\eta^2 = .01$), einen signifikanten Haupteffekt für den Messzeitpunkt ($F(1, 516) = 56.28, p < .001$, partielles $\eta^2 = .10$), und keine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe ($F(1, 516) = 3.37, p = .067$, partielles $\eta^2 = .01$). Der Messwiederholungseffekt ist somit signifikant geworden. Die Effektstärke für den Messwiederholungsfaktor ist mit $\eta^2 = .10$ nach COHEN (1988) groß. Die befragten Schüler*innen lernen durch die Treatments signifikant mit großem Effekt hinzu. Um festzustellen, ob sich beide Gruppen in ihrem Fachwissen verbessern, werden für jede Gruppe gepaarte t -Tests (Prä, Post) gerechnet. Es zeigt sich, dass sowohl die Interventionsgruppe ($p < .001$, Cohens $d_z = .25$) als auch die Vergleichsgruppe ($p < .001$, Cohens $d_z = .41$) signifikant dazulernen mit kleiner Effektstärke.

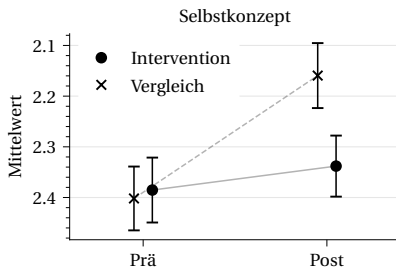
Die Teststärke des nicht-signifikanten Gruppeneffektes ist mit $1 - \beta = 0.44$ nicht zufriedenstellend. Eine Aussage darüber, ob sich die Mittelwerte der beiden Gruppen unterscheiden und damit die Gruppenbedingungen einen



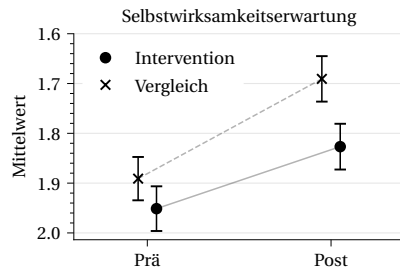
(a) Mittelwerte der Skala „Fachwissen zur Lichtbrechung“ für den Prä- und Posttest für die Interventions- und Vergleichsgruppe.



(b) Mittelwerte der Skala „Lehr- und Lernbedingungen“ für den Prä- und Posttest für die Interventions- und Vergleichsgruppe.



(c) Mittelwerte der Skala „physikbezogenes Selbstkonzept“ für den Prä- und Posttest für die Interventions- und Vergleichsgruppe.



(d) Mittelwerte der Skala „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“ für den Prä- und Posttest für die Interventions- und Vergleichsgruppe.

Abbildung 8.1: Mittelwerte im Prä- und Posttest der Datensätze getrennt nach Interventions- und Vergleichsgruppe für die Skalen „Fachwissen zur Lichtbrechung“, „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“, „physikbezogenes Selbstkonzept“ und „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“. Die Fehlerbalken entsprechen dem Standardfehler des Mittelwertes.

Tabelle 8.7: Tests der Zwischen- und Innersubjekteffekte für die Skala „Fachwissen“. Es werden Quadratsummen (QS), Anzahl der Freiheitsgrade (df), Mittel der Quadratsumme (MS), *F*-Werte, Signifikanzwerte *p* und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet.

	QS	df	MS	F	p	Partielles η^2
Haupteffekt Gruppe	25.30	1	25.30	2.66	.104	.01
Haupteffekt Messzeitpunkt	144.70	1	144.70	56.28	<.001	.10
Messzeitpunkt $\times$ Gruppe	8.66	1	8.66	3.37	.067	.01

Einfluss auf das „Fachwissen“ haben, kann daher nicht getroffen werden. Da dies für die Untersuchung der Forschungsfragen nicht von Belang ist, erweist sich dieses Ergebnis als unerheblich. Zudem ist es nicht verwunderlich, dass der Faktor Gruppe keine Wirkung auf die gesamte Messung zeigt, da in den Prätests die Proband*innen das Treatment (bisher) nicht erhalten haben und somit streng genommen noch keiner Gruppe angehören. Der Gruppenfaktor wird daher bei den folgenden Skalen ebenfalls nicht signifikant und weist eine unzureichende Teststärke auf. Die Gruppenfaktoren mit ihren Teststärken werden jeweils zur Vollständigkeit angegeben, haben jedoch keinerlei Auswirkungen auf die Interpretation der Ergebnisse.

Die Teststärke der nicht-signifikanten Wechselwirkung ist mit $1 - \beta = 0.97$ sehr gut. Prinzipiell könnte daher die Nullhypothese angenommen und behauptet werden, dass die Gruppe (und damit Wahlfreiheit) sich nicht auf den Fachwissenszuwachs auswirkt. Ohne Einbezug möglicher Störvariablen konnte somit kein Zusammenwirken der Faktoren Messwiederholung und Gruppe gefunden werden.

Fachwissen mit Kovariaten

Wie in Abschnitt 8.4 erläutert wurde, wird im Folgenden in die Analyse des „Fachwissens“ die identifizierten Kovariaten V3 und N2 des KFTs miteinbezogen. Dadurch reduziert sich die Anzahl der Datensätze, die in die Analyse einfließen (siehe Tabelle 8.8), da der Rücklauf des KFTs geringer ausfiel als der

der übrigen Fragebögen. In den Ergebnissen der ANCOVA in Tabelle 8.9 ist zu sehen, dass der Gruppen- und Messwiederholungseffekt nicht signifikant wurde. Durch die Kontrolle der Störvariablen tritt jedoch nun eine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe mit kleinem Effekt auf ($F(1, 378) = 10.52, p = .039$, partielles $\eta^2 = .01$). Die ANCOVA zeigt nur, dass ein signifikanter Unterschied im Zuwachs an „Fachwissen“ der beiden Gruppen vorliegt. Um aussagen zu können, welche Gruppe einen größeren Lernzuwachs vollziehen konnte, ist ein Blick auf die graphische Auswertung in Abb. 8.2 nötig. Diese zeigt, dass die Vergleichsgruppe stärker im „Fachwissen“ dazu gewinnt als die Interventionsgruppe. Das bedeutet, dass sich bei Kontrolle von Störvariablen zeigt, dass Wahlfreiheit sich nicht positiv auf das „Fachwissen“ auswirkt.

Lehr- und Lernbedingungen

Die Mittelwerte und Standardabweichungen für die „Lehr- und Lernbedingungen“ sind in Tabelle 8.10 zu finden. Die Mittelwerte der beiden Gruppen unterscheiden sich sowohl im Prä- und Posttest nur gering (vgl. auch Abb. 8.1(b)). Auch die Entwicklung zwischen Prä- und Posttest weist daher eine ähnliche Steigung auf. Auf Basis von Tabelle 8.10 und Abb. 8.1(b)) lässt sich vermuten, dass in der zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung in beiden Haupteffekten sowie in der Wechselwirkung keine signifikanten Ergebnisse erzielt werden. Diese Vermutung bestätigt sich mit Blick auf Ta-

Tabelle 8.8: Deskriptive Statistiken für die Skala „Fachwissen“ mit Kovariaten. Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD) und die Gruppengrößen bzw. Anzahl der Versuchspersonen (N) angegeben.

Messzeitpunkt	Gruppe	M	SD	N
Prä	Intervention	4.96	2.30	200
	Vergleich	4.60	2.30	182
	Gesamt	4.79	2.30	382
Post	Intervention	5.49	2.59	200
	Vergleich	5.55	2.69	182
	Gesamt	5.52	2.63	382

Tabelle 8.9: Tests der Zwischen- und Innersubjekteffekte der zweifaktoriellen ANCOVA mit Messwiederholung für das „Fachwissen“. Es werden Quadratsummen (QS), Anzahl der Freiheitsgrade (df), Mittel der Quadratsumme (MS), F -Werte, Signifikanzwerte p und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet.

	QS	df	MS	F	p	Partielles η^2
Haupteffekt Gruppe	3.66	1	3.66	0.43	.512	<.01
Haupteffekt Messzeitpunkt	0.34	1	0.34	0.14	.709	<.01
Messzeitpunkt $\times$ Gruppe	10.52	1	10.52	4.28	.039	.01

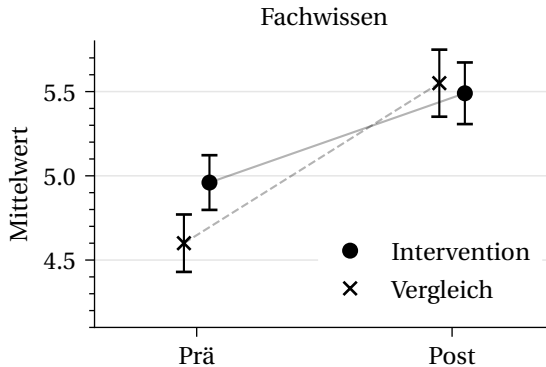


Abbildung 8.2: Mittelwerte der Skala „Fachwissen zur Lichtbrechung“ für den Prä- und Posttest für die Interventions- und Vergleichsgruppe unter Einbezug von Kovariaten.

belle 8.11. Die Ergebnisse zeigen keinen signifikanten Haupteffekt für die Gruppe ($F(1, 488) = 1.47, p = .226$, partielles $\eta^2 < .01$) und den Messzeitpunkt ($F(1, 488) = 1.02, p = .314$, partielles $\eta^2 < .01$) und keine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe ($F(1, 488) = 0.11, p = .742$, partielles $\eta^2 < .01$). Auch gepaarte t -Tests ergeben für keine der Gruppen signifikante Unterschiede vom Prä- zum Posttest (INT: $p = .177$, Cohens $d_z = .06$; VGL: $p = .312$, Cohens $d_z = .03$).

Tabelle 8.10: Deskriptive Statistiken für die Skala „Lehr- und Lernbedingungen“. Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD) und die Gruppengrößen bzw. Anzahl der Versuchspersonen (N) angegeben.

Messzeitpunkt	Gruppe	M	SD	N
Prä	Intervention	2.15	0.56	253
	Vergleich	2.08	0.59	237
	Gesamt	2.11	0.57	490
Post	Intervention	2.12	0.61	253
	Vergleich	2.06	0.62	237
	Gesamt	2.09	0.62	490

Tabelle 8.11: Tests der Zwischen- und Innersubjekteffekte für die Skala „Lehr- und Lernbedingungen“. Es werden Quadratsummen (QS), Anzahl der Freiheitsgrade (df), Mittel der Quadratsumme (MS), *F*-Werte, Signifikanzwerte *p* und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet.

	QS	df	MS	F	p	Partielles η^2
Haupteffekt Gruppe	0.87	1	0.87	1.47	.226	<.01
Haupteffekt Messzeitpunkt	0.12	1	0.12	1.02	.314	<.01
Messzeitpunkt $\times$ Gruppe	0.01	1	0.01	0.11	.742	<.01

Die Teststärke des nicht-signifikanten Gruppeneffektes ist mit $1 - \beta = 0.26$ nicht zufriedenstellend, weshalb weder die Nullhypothese noch die Alternativhypothese angenommen werden können. Daher kann eine Aussage darüber, ob sich die Mittelwerte der beiden Gruppen unterscheiden, nicht getroffen werden, was für die Studie zwar unerheblich ist, jedoch der Vollständigkeit wegen erwähnt wird. Der Messwiederholungseffekt weist ebenfalls eine zu niedrige Teststärke von $1 - \beta = 0.68$ auf. Weder die Null- noch Alternativhypothese können angenommen werden und es kann nicht gesagt werden, ob sich die Mittelwerte der beiden Messzeitpunkte unterscheiden und da-

mit die Messzeitpunkte einen Einfluss auf die „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingen“ haben. Auch der Wechselwirkungseffekt hat eine zu kleine Teststärke von $1 - \beta = 0.13$ und daher kann nicht entschieden werden, ob ein Zusammenwirken beider Faktoren vorliegt.

Eine zu kleine Stichprobengröße oder eine hohe Merkmalsstreuung in der Population sind oftmals eine Erklärung für eine geringe Teststärke (DÖRING & BORTZ, 2016). In dieser Studie ist die Stichprobe relativ groß, daher kann die Streuung eine mögliche Erklärungsgrundlage bilden. Im Vergleich zur Spannweite der Skala LLB, die von 1 bis 5 reicht, sind die Standardabweichungen in den Gruppen von 0.57 und 0.62 nicht extrem groß. Der Grund der geringen Teststärke bleibt daher ungeklärt. Weitere Aufschlüsse kann jedoch ein Blick in die Subskalen geben, die ggf. interpretierbare Effekte aufweisen.

Tabelle 8.12 zeigt, dass sich bei den Subskalen „soziale Einbindung“ und „Autonomieunterstützung“ in beiden Gruppe die Mittelwerte leicht verbessern. Die Werte für die Interventions- und Vergleichsgruppe liegen sowohl im Prä- als auch im Posttest nah beieinander. Die Subskala „Fehlerkultur“ erfährt kaum eine Veränderung. Dies zeigt sich ebenfalls in Abb. A.1 und Tabelle 8.13. Da das Interventions-Treatment nicht explizit darauf abzielt, eine positive Fehlerkultur zu fördern, sind diese Ergebnisse jedoch nicht überraschend.

Der Haupteffekt Messwiederholung wird für „soziale Einbindung“ ($F(1,486) = 10.28, p = .001$, partielles $\eta^2 = .02$) und „Autonomieunterstützung“ ($F(1,482) = 5.83, p = .016$, partielles $\eta^2 = .01$) mit kleinem Effekt signifikant. Mithilfe von gepaarten t -Tests (Prä, Post) kann festgestellt werden, dass sich die Interventionsgruppe in den Subskalen „soziale Einbindung“ ($p = .005$, Cohens $d_z = .16$) und „Autonomieunterstützung“ ($p = .005$, Cohens $d_z = .16$) signifikant mit kleinem Effekt verbessert. Die Vergleichsgruppe zeigt lediglich in der Subskala „soziale Einbindung“ signifikante Unterschiede ($p = .026$, Cohens $d_z = .13$). Es werden keine Gruppeneffekte signifikant. Für alle drei Gruppeneffekte ist die Teststärke nicht ausreichend ($1 - \beta < 0.57$).

Die Teststärke des Messwiederholungseffektes der Subskala „Fehlerkultur“ liegt bei $1 - \beta = 0.67$. Daher kann keine Aussagen darüber gemacht werden, ob sich die Mittelwerte der beiden Messzeitpunkte von „Fehlerkultur“ unterscheiden.

Die Interaktionseffekte werden nicht signifikant. Die Teststärke des Wechselwirkungseffektes für „soziale Einbindung“ ist mit $1 - \beta = 0.34$ nicht groß

Tabelle 8.12: Deskriptive Statistiken für die Subskalen der Skala „Lehr- und Lernbedingungen“. Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD) und die Gruppengrößen bzw. Anzahl der Versuchspersonen (N) angegeben.

Subskala	Messzeitpunkt	Gruppe	M	SD	N
Soziale Einbindung	Prä	Intervention	2.19	0.77	251
		Vergleich	2.13	0.71	237
	Post	Intervention	2.07	0.78	251
		Vergleich	2.05	0.77	237
Autonomieunterstützung	Prä	Intervention	1.86	0.63	247
		Vergleich	1.83	0.65	237
	Post	Intervention	1.76	0.70	247
		Vergleich	1.79	0.73	237
Fehlerkultur	Prä	Intervention	2.29	0.72	247
		Vergleich	2.17	0.74	237
	Post	Intervention	2.32	0.78	247
		Vergleich	2.21	0.75	237

genug. Bei „Autonomieunterstützung“ ist die Teststärke ebenfalls nicht ausreichend und liegt bei $1 - \beta = 0.63$. Analog verhält es sich für „Fehlerkultur“ ($1 - \beta = 0.05$). Es kann daher nicht beurteilt werden, ob es ein Zusammenwirken der Messwiederholung und Gruppe gibt.

Bezüglich der „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“ können daher keine Effekte von Wahlfreiheit festgestellt werden. Die Interventionsgruppe zeigt lediglich in den gepaarten *t*-Tests signifikante Unterschiede in der Einschätzung der „sozialen Einbindung“ und „Autonomieunterstützung“, die Vergleichsgruppe in der Einschätzung der „sozialen Einbindung“.

Selbstkonzept

Schaut man sich die Mittelwerte und Standardabweichungen für das „Selbstkonzept“ in Tabelle 8.14 an, fällt auf, dass Interventions- und Vergleichsgruppe sehr ähnliche Mittelwerte im Prätest aufweisen, sich im Posttest jedoch

Tabelle 8.13: Tests der Zwischen- und Innersubjekteffekte für die Subskalen der Skala „Lehr- und Lernbedingungen“. Es werden Quadratsummen (QS), Anzahl der Freiheitsgrade (df), Mittel der Quadratsumme (MS), *F*-Werte, Signifikanzwerte *p* und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet.

Subskala	Effekt	QS	df	MS	F	p	Part. η^2
Soziale Einbindung	Haupteffekt Gruppe	0.40	1	0.40	0.44	.508	<.01
	Haupteffekt Messzeitpunkt	2.44	1	2.44	10.28	.001	.02
	Messzeitpunkt $\times$ Gruppe	0.09	1	0.09	0.37	.542	<.01
Autonomieunterstützung	Haupteffekt Gruppe	0.00	1	0.00	0.00	.996	<.01
	Haupteffekt Messzeitpunkt	1.36	1	1.36	5.83	.016	.01
	Messzeitpunkt $\times$ Gruppe	0.23	1	0.23	1.00	.318	<.01
Fehlerkultur	Haupteffekt Gruppe	3.15	1	3.15	3.46	.064	.01
	Haupteffekt Messzeitpunkt	0.30	1	0.30	1.44	.231	<.01
	Messzeitpunkt $\times$ Gruppe	0.00	1	0.00	0.01	.934	<.01

unterscheiden. Die Vergleichsgruppe weist dabei einen niedrigeren Mittelwert und damit ein positiveres „physikbezogenes Selbstkonzept“ auf.

Die Ergebnisse in Tabelle 8.15 zeigen keinen signifikanten Haupteffekt für die Gruppe ($F(1,476) = 1.07, p = .301$, partielles $\eta^2 < .01$), einen signifikanten Haupteffekt für den Messzeitpunkt mit kleinem Effekt ($F(1,476) = 11.68, p = .001$, partielles $\eta^2 = .02$), und eine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe mit kleinem Effekt ($F(1,476) = 5.30, p = .022$, partielles $\eta^2 = .01$). Die Messzeitpunktbedingungen und das Zusammenwirken von Gruppe und Messzeitpunkt haben somit einen Einfluss auf das „Selbstkonzept“. Ob beide Gruppen ihr „Selbstkonzept“ von Prä- zu Posttest verbessern, wird mit gepaarten *t*-Tests bestimmt. Für die Interventionsgruppe ergibt sich keine signifikante Verbesserung ($p = .441$, Cohens $d_z = .05$). Die Vergleichsgruppe verbessert ihr „Selbstkonzept“ signifikant mit kleinem Effekt ($p < .001$, Cohens $d_z = .27$), was ebenfalls in Abb. 8.1(c) ersichtlich ist. Das Treatment

Tabelle 8.14: Deskriptive Statistiken für die Skala „Selbstkonzept“. Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD) und die Gruppengrößen bzw. Anzahl der Versuchspersonen (N) angegeben.

Messzeitpunkt	Gruppe	M	SD	N
Prä	Intervention	2.39	1.01	247
	Vergleich	2.40	0.96	231
	Gesamt	2.39	0.98	478
Post	Intervention	2.34	0.95	247
	Vergleich	2.16	0.97	231
	Gesamt	2.25	0.96	478

der Vergleichsgruppe hat somit einen signifikant positiveren Einfluss auf die Entwicklung des „Selbstkonzepts“. Die Interventionsgruppe zeigt keine Veränderung im „Selbstkonzept“.

Für den Gruppeneffekt errechnet sich eine Teststärke von $1 - \beta = .20$. Diese ist ebenfalls zu niedrig, um die Nullhypothese anzunehmen und daher kann keine Aussage zum Gruppeneffekt getroffen werden.⁴⁴

Tabelle 8.15: Tests der Zwischen- und Innersubjekteffekte für die Skala „Selbstkonzept“. Es werden Quadratsummen (QS), Anzahl der Freiheitsgrade (df), Mittel der Quadratsumme (MS), *F*-Werte, Signifikanzwerte *p* und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet.

	QS	df	MS	F	p	Partielles η^2
Haupteffekt Gruppe	1.57	1	1.57	1.07	.301	<.01
Haupteffekt Messzeitpunkt	5.01	1	5.01	11.68	.001	.02
Messzeitpunkt $\times$ Gruppe	2.27	1	2.27	5.30	.022	.01

44 Zur Bedeutung dieses Ergebnisses siehe oben.

Selbstwirksamkeitserwartung

Die Mittelwerte und Standardabweichungen für die „Selbstwirksamkeitserwartung“ sind in Tabelle 8.16 aufgeführt. Beide Gruppen weisen im Prätest ähnliche Mittelwerte auf, unterscheiden sich im Posttest jedoch voneinander. Die Entwicklung beider Gruppen ist ebenfalls in Abb. 8.1(d) zu sehen. Der Mittelwert der Interventionsgruppe ist im Posttest niedriger als der der Vergleichsgruppe. Ein niedrigerer Wert bedeutet eine bessere Einschätzung der „Selbstwirksamkeitserwartung“.

Die Ergebnisse in Tabelle 8.17 zeigen erneut keinen signifikanten Gruppeneffekt ($F(1, 474) = 3.20, p = .074$, partielles $\eta^2 = .01$) mit geringer Teststärke von $1 - \beta = .56$. Der Haupteffekt für den Messzeitpunkt wird signifikant mit mittlerem Effekt ($F(1, 474) = 25.15, p < .001$, partielles $\eta^2 = .05$). Gepaarte t -Tests ergaben, dass sich in beiden Gruppen die Einschätzung der „Selbstwirksamkeitserwartung“ signifikant mit kleinem Effekt verbessert (INT: $p = .002$, Cohens $d_z = .19$; VGL: $p < .001$, Cohens $d_z = .27$). Es konnte jedoch keine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe gefunden werden ($F(1, 474) = 1.37, p = .242$, partielles $\eta^2 < .01$).

Die Teststärke des Wechselwirkungseffektes ist mit $1 - \beta = .65$ nicht ausreichend, um die Nullhypothese anzunehmen. Es kann daher keine Aussage über die Wirkung des Messzeitpunktes (Entwicklung durch das Treatment) in Abhängigkeit von der Gruppe (Intervention und Vergleich) gebildet wer-

Tabelle 8.16: Deskriptive Statistiken für die Skala „Selbstwirksamkeitserwartung“. Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD) und die Gruppengrößen bzw. Anzahl der Versuchspersonen (N) angegeben.

Messzeitpunkt	Gruppe	M	SD	N
Prä	Intervention	1.95	0.70	245
	Vergleich	1.89	0.66	231
	Gesamt	1.92	0.68	476
Post	Intervention	1.83	0.72	245
	Vergleich	1.69	0.69	231
	Gesamt	1.76	0.71	476

Tabelle 8.17: Tests der Zwischen- und Innersubjekteffekte für die Skala „Selbstwirksamkeitserwartung“. Es werden Quadratsummen (QS), Anzahl der Freiheitsgrade (df), Mittel der Quadratsumme (MS), *F*-Werte, Signifikanzwerte *p* und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet.

	QS	df	MS	F	p	Partielles η^2
Haupteffekt Gruppe	2.29	1	2.29	3.20	.074	.01
Haupteffekt Messzeitpunkt	6.27	1	6.27	25.15	<.001	.05
Messzeitpunkt $\times$ Gruppe	0.34	1	0.34	1.37	.242	<.01

den. In der Stichprobenplanung (BÜHNER & ZIEGLER, 2009), die ebenfalls mit G*Power erfolgt, müsste die Stichprobe für den Wechselwirkungseffekt insgesamt 674 Proband*innen umfassen, 198 mehr als vorlagen.

Intrinsische Motivation

Die Skalen zur „intrinsischen Motivation“ und „wahrgenommenen Wahlfreiheit“ wurden mit einer einfaktoriellen ANOVA ausgewertet. Dabei wird die Auswirkung einer unabhängigen Variablen (Gruppe) auf die abhängige Variable („intrinsische Motivation“ bzw. „wahrgenommene Wahlfreiheit“) geprüft (BÜHNER & ZIEGLER, 2009). In der deskriptiven Statistik in Tabelle 8.18 fällt bereits auf, dass sich die Gruppen kaum in den Mittelwerten unterscheiden.

Auch in den Ergebnissen der ANOVA in Tabelle 8.19 zeigt sich kein Unterschied zwischen den Gruppen. Die ANOVA ist nicht auf dem Alpha-Niveau

Tabelle 8.18: Deskriptive Statistiken für die Skala „intrinsische Motivation“. Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD) und die Gruppengrößen bzw. Anzahl der Versuchspersonen (N) angegeben.

Messzeitpunkt	Gruppe	M	SD	N
Post	Intervention	1.90	0.68	303
	Vergleich	1.94	0.67	279
	Gesamt	1.92	0.68	582

von .05 signifikant ($F(1,580) = 0.54, p = .464$, partielles $\eta^2 < .01$). Die Teststärke liegt bei $1 - \beta = .12$. Für eine ausreichende Teststärke wäre eine Stichprobengröße von 7844 erforderlich. Wie bei der Skala LLB wird daher auch hier eine genauere Analyse der Subskalen der „intrinsischen Motivation“ vorgenommen (siehe Tabelle 8.20).

Für „Interesse und Vergnügen“ liegt ein signifikanter Unterschied mit kleinem Effekt zwischen den Gruppen vor ($p < .001, \eta^2 = .02$). Dabei weist die Interventionsgruppe bessere Werte in dieser Subskala auf als die Vergleichsgruppe. Es kann somit gesagt werden, dass sich Wahlfreiheit positiv auf „Interesse und Vergnügen“ auswirkt. In den anderen Subskalen sind keine signifikanten Effekte zu finden (siehe Tabelle 8.20).

Die Teststärke $1 - \beta$ beträgt für „Interesse und Vergnügen“ .92; für „wahrgenommene Kompetenz“, „wahrgenommene Wahlfreiheit“ und „Druck und Anspannung“ .12. Für die Subskalen außer „Interesse und Vergnügen“ liegt somit keine ausreichende Teststärke vor und es können keine Aussagen zu Effekten des Treatments auf die Entwicklung dieser Variablen getroffen werden.

8.6.4 Zusammenhänge zwischen den Variablen

Neben den bisher betrachteten Gruppenunterschieden werden im Folgenden die Zusammenhänge der gemessenen Variablen untereinander beleuchtet. Zunächst wird der Zuwachs an „Fachwissen“ in Abhängigkeit von der Klassenstufe untersucht. Der gewählte physikalische Kontext des Treatments „Unsichtbarkeit von Aquakugeln“ (vgl. Abschnitt 4.2) gehört innerhalb der geometrischen Optik in das Themengebiet der Lichtbrechung und Reflexion.

Tabelle 8.19: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse für die Skala „intrinsische Motivation“. Es werden Quadratsummen (QS), Anzahl der Freiheitsgrade (df), Mittel der Quadratsumme (MS), F -Werte, Signifikanzwerte p und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet.

	QS	df	MS	F	p	η^2
Zwischen den Gruppen	0.25	1	0.25	0.54	.464	<.01
Innerhalb der Gruppen	265.62	580	0.46	-	-	-

Tabelle 8.20: Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD) und einfaktorielle Varianzanalysen der Subskalen der KIM. Es werden F -Werte, Signifikanzwerte p und als Effektstärken η^2 berichtet.

Subskala	INT		VGL		F	p	η^2
	M	SD	M	SD			
Interesse & Vergnügen	1.52	0.84	1.79	1.13	11.42	<.001	.02
Wahrg. Kompetenz	1.82	0.93	1.76	0.85	0.61	.434	<.01
Wahrg. Wahlfreiheit	2.02	0.99	2.06	1.00	0.20	.658	<.01
Druck & Anspannung	2.21	1.14	2.14	1.12	0.57	.450	<.01

Laut den Lehrplänen des hessischen Kultusministeriums⁴⁵ ist dieses Themengebiet in Gymnasien, Realschulen und integrierten Gesamtschulen in der siebten Jahrgangsstufe eingeordnet (HESSISCHES KULTUSMINISTERIUM, 2016a, 2016b).

Da in der Studie Schüler*innen der Klassenstufen 6 bis 10 teilgenommen haben, kann vermutet werden, dass der Zuwachs im „Fachwissen“ für die höheren Klassenstufen geringer ausfällt, da sie dieses Themengebiet im Physikunterricht bereits bearbeitet haben. Auch zeigt die Korrelationsanalyse (Tabellen A.9 und A.10), dass die Klassenstufe mittel mit dem Posttestwert des „Fachwissen“ ($r = -.360$) korreliert.

Um einen möglichen Zusammenhang des Zuwachses von „Fachwissen“ in Bezug zu der Klassenstufe zu untersuchen, wird in Abb. 8.3 der Mittelwert im Fachwissenszuwachs in Abhängigkeit von der Klassenstufe aufgetragen.

Es zeigt sich dabei kein Zusammenhang zwischen Klassenstufe und Fachwissenszuwachs. Den höchsten Zuwachs an „Fachwissen“ erzielte in der Interventionsgruppe sogar die 10. Klassenstufe (in der Vergleichsgruppe die 8. Jahrgangsstufe). Auch liegt der Mittelwert des Fachwissenszuwachses für die Interventionsgruppe nicht immer höher als der der Vergleichsgruppe, was bereits die Ergebnisse in Abschnitt 8.6.3 implizierten.

Aus dem empirischen Forschungsstand (siehe Abschnitt 2.5) ergaben sich zudem Zusammenhänge der Konstrukte bzw. Variablen Wahlfreiheit, wahrge-

⁴⁵ Die Stichprobe stammt vorrangig von hessischen Schulen.

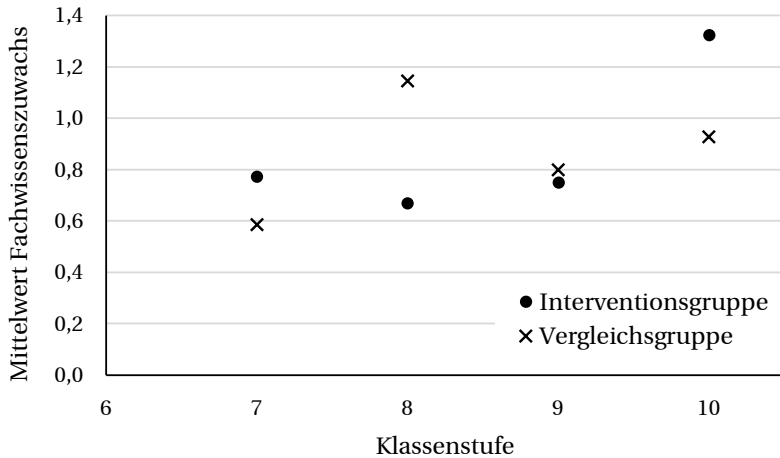


Abbildung 8.3: Fachwissenszuwachs (Mittelwerte) in Abhängigkeit von Klassenstufe, getrennt nach Interventions- und Vergleichsgruppe.

nommene Autonomieunterstützung, intrinsische Motivation, Selbstkonzept und Selbstwirksamkeitserwartung sowie Fachwissen, die in Abb. 2.3 dargestellt wurden. Ob diese Zusammenhänge sich ebenfalls in den Daten dieser Studie zeigen, wird mithilfe von Korrelationsanalysen untersucht. Dazu wird in SPSS der Pearson-Korrelationskoeffizient r berechnet. Die Korrelationskoeffizienten sind in den Tabellen A.9 und A.10 zu finden.⁴⁶

Den Zusammenhang zwischen zwei Variablen misst man mit Korrelationen (BÜHNER & ZIEGLER, 2009). Korrelationen können dabei Werte von -1 bis +1 annehmen. Dabei sagt die Korrelation zunächst nur aus, ob ein Zusammenhang existiert und welche Stärke er aufweist. Um Aussagen über Kausalität zu treffen, ist eine zeitliche Ordnung der Variablen nötig (BÜHNER & ZIEGLER, 2009). Das bedeutet zum Beispiel, dass Variable 1 vor Variable 2 erhoben wurde, um einen kausalen Einfluss von 1 auf 2 zu bestimmen. In

⁴⁶ Da die Skalen „Fachwissen“ sowie V3 und N2 des KFTs Summenskalen und damit umgekehrt skaliert sind als die übrigen, bei denen ein niedrigerer Wert ein besseres Ergebnis bedeutet, wurden diese vor der Berechnung der Korrelationen transformiert.

der Studie ist die Bestimmung von kausalen Zusammenhängen daher nur für „Selbstkonzept“, „Selbstwirksamkeitserwartung“ und „Fachwissen“ möglich. „Wahlfreiheit“ sowie „intrinsische Motivation“ wurden nur im Posttest erhoben. Ob diese sich auf die anderen Variablen auswirken, kann folglich nicht untersucht werden, da die Erhebung dieser Variablen zeitlich vor den anderen Variablen liegen muss. Kausalzusammenhänge werden in Abb. 8.4 mit Pfeilen dargestellt.

Abb. 8.4 zeigt die für die Stichprobe gemessenen Zusammenhänge bzw. Korrelationen, die zuvor aus dem empirischen Forschungsstand abgeleitet wurden. Ein positiver Korrelationskoeffizient bedeutet eine positive Korrelation. Das heißt, dass größere Werte der einen Variable mit größeren Werten der anderen Variable einhergehen. Nach COHEN (1988, S. 83) bedeutet ein Korrelationskoeffizient $r = .10$ eine schwache, $r = .30$ eine moderate und $r = .50$ eine starke Korrelation. An dieser Stelle sei darauf verwiesen, dass für die Untersuchung der Zusammenhänge von Variablen auch Strukturgleichungsmodelle herangezogen werden können (DÖRING & BORTZ, 2016). Da diese Zusammenhangsanalyse nicht im Fokus dieser Arbeit liegt und Strukturgleichungsmodelle

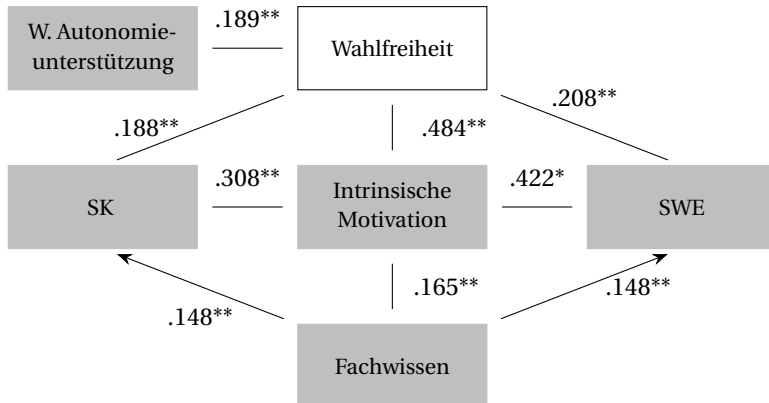


Abbildung 8.4: Zusammenhang der untersuchten Variablen in der Studie. Die Zahlen neben den Strichen (Zusammenhang) und Pfeilen (Kausalzusammenhang) entsprechen dem Pearson-Korrelationskoeffizienten. **: Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 (2-seitig) signifikant. *: Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.05 (2-seitig) signifikant.

chungsmodelle anspruchsvolle Berechnungen erfordern, beschränken sich die Darstellungen an dieser Stelle auf einfache Korrelationen. Für mögliche zukünftige Analysen könnte jedoch auch die Verwendung dieser Methode in Betracht gezogen werden.

Es wurden insgesamt die Zusammenhänge aus dem Forschungsstand gefunden. „Wahlfreiheit“ und „intrinsische Motivation“ zeigen einen starken positiven Zusammenhang ($r = .484$). Da Wahlfreiheit als Prädiktor für die intrinsische Motivation nach DECI und RYAN (1985) gilt, ist dieser Zusammenhang erwartbar (siehe dazu auch die Abschnitte 2.4 und 6.1.5). Zudem hängt die „wahrgenommene Wahlfreiheit“ schwach mit der wahrgenommenen „Autonomieunterstützung (AU)“, dem „physikbezogenen Selbstkonzept (SK)“ und der „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren (SWE)“ zusammen. Der gemessene Zusammenhang von „intrinsischer Motivation“ und „Fachwissen (FW)“ ist in der Stichprobe ebenfalls schwach. Das „Fachwissen“ wirkt sich schwach auf das „Selbstkonzept“ und die „Selbstwirksamkeitserwartung“ aus ($r = .148$). Eine Auswirkung des „Selbstkonzepts“ und der „Selbstwirksamkeitserwartung“ auf das „Fachwissen“ konnte in den Studiendaten nicht gefunden werden. Dafür korrelieren „Selbstkonzept“ und „Selbstwirksamkeitserwartung“ moderat mit der „intrinsischen Motivation“.

8.7 Reflexionen der Lehrkräfte

Als Follow-up wurden die teilnehmenden Lehrkräfte mit einem qualitativen Fragebogen (im Anhang B.2.1) zu den Unterrichtseinheiten nach deren Durchführung befragt. Siehe dazu auch Abschnitt 6.2.

Zuerst wurden sie um eine allgemeine Einschätzung ihrer Eindrücke zur Durchführung der Unterrichtseinheit gebeten. Die Antworten⁴⁷ können Tabellen 8.21 und 8.22 entnommen werden.

In den allgemeinen Eindrücken zur Unterrichtseinheit in der Interventionsgruppe (siehe Tabelle 8.21) entsteht das Bild, dass die Unterrichtseinheit die Schüler*innen motiviert hat und sie am Experimentieren Spaß fanden. In Klasse 22⁴⁸ wird „Spannung“ erwähnt, in den Klassen 33, 34, 51, 52 und 53

47 Rechtschreibung und Grammatik der Antworten wurden nicht korrigiert. Smileys wurden übernommen, um die jeweilige Aussage möglichst originalgetreu darzustellen.

48 Die Benennung der Klasse setzt sich aus der Nummer der Lehrkraft (1-7) und der Nummer der Klasse zusammen.

Tabelle 8.21: Eindrücke zur Durchführung der Unterrichtseinheit aus der Interventionsgruppe.

Klasse	Eindrücke zur Durchführung der Unterrichtseinheit
21	wenig Grundlagen vorhanden. noch keine Experimentiererfahrung bei den SuS ->Meine Vorbereitung bezog sich auf den Ausschnitt, was behandelt/beobachten/erklärt werden soll - daher: sehr kompakt, für SchülerInnen ideal
22	Spannung war vorhanden und Grundlagen aus Optik 7. Transparenz des Ablaufs von naturwissenschaftlichem Unterricht vorhanden
33	Zum Teil sehr motiviert, erfreut, begeistert über die Ergebnisse.
34	Momentan gibt es zwei Gruppen in der Klasse. Die eine Gruppe ist sehr motiviert und leistungsbereit und die andere Gruppe „totale“ Pubertät. Es schien bei den iPad genutzten Versuchen eine „motivierte“ Gruppe zu haben. Die Unterschiedlichkeit schien zu motivieren.
41	Das Wasser war nicht sehr vorteilhaft :) Sehr interessant für die Schüler. Die Möglichkeit gleiche Thema mit verschiedenen Experimenten zu erforschen & das gleichzeitig (wegen Stationsarbeit) war eine schöne Idee!
51, 52, 53	Sehr motivierend und schülerorientiert. Sehr einfach vorzubereiten mit Materialien aus der Lebenswelt der SuS. Klare Struktur erkennbar und immer zielorientiert.
63	Mein Eindruck war, dass die Schülerinnen und Schüler in der Origineleinheit gut mit den Materialien zurechtgekommen sind und auch sehr interessiert an den Experimenten waren. Insbesondere das Experiment zur Herstellung von Schleim und das Arbeiten mit iPads haben den Kindern sehr gut gefallen. Beim Experimentieren mit den Reagenzgläsern gab es weniger Gruppen, die dies durchgeführt haben. Auch hier haben die Schülerinnen und Schüler lieber experimentiert als ihre Ergebnisse zu dokumentieren, aber nach Aufforderung haben sie ihre Ergebnisse notiert. Der Lernzuwachs war ähnlich hoch wie in der anderen Gruppe.
71	Benötigte iPad sind im Alltag schwierig zu organisieren. Versuche machten den SuS Spaß, der Alltagsbezug war nicht ganz einfach herzustellen.

wird die Motivation der Schüler*innen direkt angesprochen, in Klasse 41 und 63 wird Interesse erwähnt und die Reflexion von Klasse 71 verwendet das Wort „Spaß“. Diese Eindrücke decken sich mit den Ergebnissen aus Tabelle 8.20, die einen signifikanten Unterschied bezüglich „Interesse und Vergnügen“ zugunsten der Interventionsgruppe nachweisen. Negative Kommentare gab es bezüglich des Einsatzes von Wasser in einem Experiment (Klasse 41), zur Dokumentation der Experimentielergebnisse (Klasse 63) sowie zum Beschaffen von Tablets für das Experimentieren und zum (fehlenden) Alltagsbezug der Einheit (Klasse 71).

Auch in den Eindrücken zu den Klassen der Vergleichsgruppe in Tabelle 8.22 wird Motivation (Klasse 11, 14, 16, 54, 55 und 62), Interesse (Klasse 31, 33 und 62) und Spaß (Klasse 72, 73 und 74) erwähnt. Auffällig ist, dass sich die Eindrücke von Klasse 72, 73 und 74 mit denen von Klasse 71 aus der Interventionsgruppe gleichen. Augenscheinlich wurde von der Lehrkraft keine Unterscheidung zwischen den beiden Gruppen vorgenommen. Auch verwundern die Aussagen zu den Klassen 72, 73 und 74, dass Tablets schwierig zu organisieren waren, da in dem Treatment der Vergleichsgruppe keine Experimente mit dem Tablet vorkamen. Vermutet wird daher ein Übertragungsfehler der Reflexion von Seiten der Lehrkraft. Darüber hinaus wurden in der Vergleichsgruppe Probleme bei der Dokumentation der Experimentielergebnisse (Klasse 62) und beim Herstellen des Alltagsbezugs (Klasse 73) genannt.

Im zweiten Teil des Fragebogens sollten die Lehrkräfte ihre Eindrücke im Hinblick auf verschiedene Aspekte⁴⁹ schildern.

Für die Analyse wurden die Aussagen der Lehrkräfte in Bezug auf die jeweiligen Kategorien als entweder positiv, neutral oder negativ eingestuft. Hierbei wurde ein Score für jede Kategorie berechnet, welcher aus der Differenz zwischen positiven und negativen Bewertungen geteilt durch die Gesamtanzahl der Antworten in der betreffenden Kategorie hervorging.

Es ist anzumerken, dass die in Tabelle 8.23 dargestellten Ergebnisse auf den Rückmeldungen von 27 unterschiedlichen Klassen beruhen. Die Interventi-

49 Diese Aspekte sind: Sicherheit beim Experimentieren, affektive Merkmale, Experimentierkompetenz, Fachwissen, überfachliche Kompetenzen der Schüler*innen, Eindrücke im Hinblick auf Inklusion (im Folgenden als Inklusionsaspekte bezeichnet), Differenzierung in der Klasse sowie Störungen und effektive Lernzeit.

Tabelle 8.22: Eindrücke zur Durchführung der Unterrichtseinheit aus der Vergleichsgruppe.

Klasse	Eindrücke zur Durchführung der Unterrichtseinheit
11	SuS waren motiviert Versuche durchzuführen, die von mir vertretene Lehrkraft führt wenig Versuche durch, viel Theorie.
14, 16	SuS und ich waren motiviert. Durchführung hat sehr gut geklappt
19	Erste Klasse mit der die Einheit gestartet wurde, mir hat noch die Souveränität einer Durchführung mit SuS gefehlt. Die Klasse ist beim Experimentieren schwierig (unruhig)
31, 33	Schüler waren sehr interessiert. Einige konnten das Thema aus ihrem Unterricht in Herkunftsland.
54, 55	Sehr motivierend und schülerorientiert. Sehr einfach vorzubereiten mit Materialien aus der Lebenswelt der SuS. Klare Struktur erkennbar und immer zielorientiert.
62	Aus meiner Perspektive war die Durchführung der Unterrichtseinheit mit den Aquakugeln ein Erfolg, da die Schülerinnen und Schüler sehr interessiert und motiviert waren. Allerdings gab es auch einige Herausforderungen, wie z.B. Schwierigkeiten beim Aufschreiben der Ergebnisse und der Durchführung des zweiten Experiments, da unsere Reagenzgläser nicht sauber genug waren. Trotzdem war ich beeindruckt von der Flexibilität und Kreativität, mit der die Schülerinnen und Schüler ihre eigenen Untersuchungen durchführten.
72, 74	Benötigte iPad sind im Alltag schwierig zu organisieren. Versuche machten den SuS Spaß, der Alltagsbezug war im Gespräch (Lehrer-SuS-Gespräch, Gespräche in Partnerarbeit) einfach herzustellen.
73	Benötigte iPad sind im Alltag schwierig zu organisieren. Versuche machten den SuS Spaß, der Alltagsbezug war nicht ganz einfach herzustellen.

Tabelle 8.23: Reflexionsscores der Lehrkräftebögen.

Kategorie	Interventionsgruppe	Vergleichsgruppe
Affektive Merkmale	1,0	0,7
Sicherheit	0,8	0,8
Differenzierung	0,7	0,4
Überfachliche Kompetenzen	0,4	0,6
Experimentierkompetenz	0,0	0,2
Unterrichtsqualität	0,0	0,1
Fachwissen	-0,1	0,0
Inklusionsaspekte	-0,3	0,0

onsgruppe besteht dabei aus 15 Klassen, die Vergleichsgruppe aus 12 Klassen. Im Folgenden werden einige Aussagen der Lehrkräfte aus den Reflexionsbögen paraphrasiert dargestellt. Die Original-Aussagen sind in Anhang A.2 zu finden.

Es zeigt sich, dass die Einschätzungen hinsichtlich der verschiedenen Kategorien zwischen den Gruppen tendenziell ähnlich ausfallen. Das bedeutet, dass in beiden Gruppen die gleichen Kategorien eher positiv, neutral oder negativ bewertet wurden. Auffällige Unterschiede in den Scores lassen sich jedoch in den Kategorien „affektive Merkmale“ und „Differenzierung“ feststellen. Hierbei ist zu erwähnen, dass die Interventionsgruppe, wie durch die Ergebnisse in Abschnitt 8.6 erwartet, mehr positive Rückmeldungen aufweist als die Vergleichsgruppe. Alle Aussagen der Interventionsgruppe merken eine hohe Motivation der Schüler*innen bei der Durchführung der Unterrichtseinheit an. Eine Lehrkraft (Interventionsgruppe) erwähnt sogar explizit, dass das Auswählen der Experimente die Schüler*innen motiviert hat. Eine andere Lehrkraft konnte sogar eine Steigerung des Selbstkonzeptes einzelner Schüler*innen in diesem Zusammenhang durch Aussagen wie „Ich bin Wissenschaftler“ feststellen. In der Vergleichsgruppe waren die Eindrücke zur Motivation der Schüler*innen vorwiegend positiv, jedoch führt eine Lehrkraft beispielsweise an, dass die Klasse schwach motiviert ist und „alles blöd und langweilig“ findet.

In Bezug auf die Differenzierung führt eine Lehrkraft an, dass die Schüler*innen „unterschiedliche Experimente gewählt haben, die ihren Interessen und Fähigkeiten entsprachen“ und „durch die freie Wahl der Experimente [...] in der Lage waren, ihr individuelles Potenzial auszuschöpfen und ihre Fähigkeiten zu verbessern“. Die positiven Auswirkungen von Wahlfreiheit konnten somit von dieser Lehrkraft anscheinend explizit beobachtet werden.

Darüber hinaus zeigt sich ein ähnlicher Unterschied im Score der Kategorie „Inklusionsaspekte“. Dieser Unterschied ist jedoch auf die geringe Anzahl der erhaltenen Antworten zurückzuführen, mit drei Antworten in der Interventionsgruppe und einer Antwort in der Vergleichsgruppe. In der Interventionsgruppe schreibt eine Lehrkraft, dass die Schüler*innen mit Förderbedarf durch die interessanten Experimentiermaterialien gut in das Unterrichtsgeschehen eingebunden waren und „gut mitgemacht“ haben. Eine andere Lehrkraft berichtet jedoch, dass Schüler*innen mit Förderbedarf zusätzliche Unterstützung benötigten und kein Versuchsprotokoll erstellten.

Besonders bemerkenswert ist die Tatsache, dass der Score in Bezug auf das „Fachwissen“ in beiden Gruppen nahezu null beträgt. Dennoch erschließt sich bei genauerer Betrachtung, dass dieser Score hauptsächlich aus positiven und negativen Bewertungen zusammengesetzt ist. Diese erhebliche Bandbreite zeigt, dass die Einschätzung des „Fachwissens“ stark von den individuellen Faktoren der Lehrkräfte und den jeweiligen Gegebenheiten im Unterrichtssetting beeinflusst wird. So berichtet eine Lehrkraft, dass der Übergang von Experiment zu Fachwissen schwer fiel, eine andere schreibt, dass die Schüler*innen trotz fehlender Erfahrungen mit dem Thema Brechungsindex in der Lage waren, „das Konzept während des Experimentierens mit den unterschiedlichen Materialien zu verstehen und anzuwenden“. Im Fachwissenstest (siehe Abschnitt 8.6.3) konnten jedoch beide Gruppen signifikant hinzulernen.

Im letzten Teil des Fragebogens konnte der empfundene Aufwand in der Durchführung der Unterrichtseinheit auf einer fünfstufigen Likert-Skala (wenig aufwändig bis sehr aufwändig) eingeschätzt werden. Die Einschätzung zum Aufwand ergab für die Interventionsgruppe einen Mittelwert von 2.3 ($n=15$) und für die Vergleichsgruppe 2.6 ($n=11$). Dies bedeutet, dass die Durchführung des Interventions-Treatments als weniger aufwändig eingeschätzt wurde. Da dieses mit dem Aufbau von deutlich mehr Experimenten verbun-

den war, liegt die Vermutung nahe, dass dieses Ergebnis eher durch die Verteilung unterschiedlicher Lehrkräfte auf die Interventions- und Vergleichsgruppe entstanden ist und weniger darauf hindeutet, dass die Unterrichtseinheit der Interventionsgruppe leichter durchzuführen ist.

8.8 Blick in die ausgefüllten Arbeitsblätter

Eine weitere Datenquelle sind die ausgefüllten Arbeitsblätter der Schüler*innen (siehe Anhang C.2.2), die zum Notieren der Experimentiererergebnisse eingesetzt wurden (siehe Abschnitt 4.5). Auf den Arbeitsblättern wurden die Schüler*innen gebeten, für jedes Experiment darzustellen, was gemacht, beobachtet und herausgefunden wurde sowie wie das Experiment mit dem Demonstrationsexperiment zu Beginn der Unterrichtseinheit zusammenhängt. In den ausgefüllten Arbeitsblättern ist eine große Bandbreite an Experimentiererergebnissen zu finden.

Für die Studie ist besonders von Interesse, was die Schüler*innen bei den Experimenten herausgefunden haben. Daher werden zu jedem Experiment ausgewählte Schüler*innenaussagen dargestellt sowie eine kurze Einschätzung zu deren physikalischer Richtigkeit gegeben. Dabei ist das Ziel keineswegs eine umfassende Darstellung aller möglichen Aussagen, sondern nur stichprobenartige Einblicke in die Gedankenwelt der Proband*innen. Einige Experimentiererergebnisse liegen in vollständig gezeichneter Form vor. Auf die Ausführung dieser wird im Folgenden verzichtet.

8.8.1 Offenes Freihandexperiment

Beim Freihandexperiment „Aquakugeln erleben“ schreibt ein*e Schüler*in:

„es ist im waßer unsichtbar“[sic].

Anscheinend bezieht sich der*die Schüler*in darauf, dass Aquakugeln im Wasser unsichtbar erscheinen. Dieses Phänomen kann in diesem Experiment reproduziert werden. In seiner*ihrer Aussage bleibt der*die Schüler*in auf einer phänomenologischen und rein deskriptiven Ebene und versucht (noch) keine Erklärungen für die Beobachtung zu finden.

Ein*e andere*r Lernende*r schreibt:

„Ich habe herausgefunden, dass die Aqua Kugeln durchsichtig werden und man durchsehen kann, weil sie aus Wasser bestehen“[sic].

Diese Vorstellung ist zwar näher an der physikalisch richtigen Vorstellung gleicher Brechungsindizes, jedoch hätte beim offenen Experimentieren überprüft werden können, ob diese tatsächlich aus Wasser bestehen (zum Beispiel durch Aufschneiden).

8.8.2 Modellbildung

Gleich mehrere Schüler*innen erwähnen zu „Eine Aquakugel im Modell“ bei ihren Ergebnissen folgendes:

„Es ändert sich das Licht, wenn der Lichtweg anders ist“ [sic].

Das zentrale Phänomen, dass beim Verändern des Brechungsindex des umliegenden Mediums sich der Lichtweg durch die Aquakugel verändert, wurde von einigen Schüler*innen in der Simulation nicht beobachtet. Von ihnen wurde lediglich die Position der Lichtquelle variiert. Es ist daher zu überlegen, ob eine feste Position der Lichtquelle in der Simulation zu besseren Experimentierergebnissen geführt hätte.

Ein*e Schüler*in schreibt jedoch:

„Das der Lichtweg nicht immer gerade durch die Kugel geht nur wenn man auf 1,33n Stoff geht reflektiert es auch nicht“ [sic].

Diese*r Lernende*r hat beobachtet, dass der Lichtweg gerade durch die Aquakugel im Modell geht, wenn man einen Brechungsindex von 1,33 bei dem umliegenden Stoff einstellt. Der Transfer, dass gleiche Brechungsindizes (in diesem Fall 1,33 bei Stoff und Aquakugel) einen ungebrochenen Lichtweg bedeuten, erfolgte jedoch nicht.

8.8.3 Digitalisiertes Experiment

Zu dem Experimentiervideo „Das Material eines Stabes bestimmen“ schreibt ein*e Schüler*in:

„Der Stab ist unsichtbar wenn er in die Flüssigkeit eingetaucht wird, die den gleichen Brechungsindex wie er selbst hat“ [sic].

Diese Antwort entspricht den physikalischen Grundlagen.

8.8.4 Kreatives Gestalten

Zu dem Experiment „Durchsichtigen Schleim herstellen“ gibt ein*e Schüler*in folgende ausführliche Beobachtung:

„Anfangs war die Masse durchsichtig, durch das Natron und die Luftblässen (Luftbläschen) die durch das rühren entstanden sind hat es weiße Farbe bekommen“ [sic].

Es wird noch einen Schritt weitergegangen und die chemische Zusammensetzung des Schleimes erläutert:

„Das es durch die Zusammensetzung von Polyhexamethylenbiguanide, EDTA, PVP, Poloxamer und Natron die feste Konsistenz angenommen hat“ [sic].

Der zweite Teil der Antwort geht weit über das Lernziel des Experimentes hinaus und zeigt, dass verschiedene Schwerpunkte je nach Klasse und Lehrkraft mit der Einheit möglich sind, wie ein solcher Exkurs in die Chemie.

8.8.5 Angeleitetes Schüler*innenexperiment

Ein*e Schüler*in schreibt zu dem Experiment „Ein Reagenzglas verschwinden lassen“:

„Luft: man konnte seh(r) deutlich das glas sehen. Wasser: man hat nur die rende (*Ränder*) deutlich gesen. Glycerin: man hat gahr nichts gesehen außer 2 Strieche“ [sic].

Dieses Zitat zeigt, dass das Phänomen beobachtet werden konnte, sowie alle Experimentierschritte durchgeführt wurden.

Ein*e andere*r Schüler*in schreibt:

„Das Wasser viel mit der Optik des Auges macht“ [sic].

Diese Antwort lässt vermuten, dass bei dem Phänomen von einer optischen Täuschung ausgegangen wird. Allerdings kann dies anhand des weiteren Textes auf diesem Arbeitsblatt nicht abschließend geklärt werden.

Insgesamt zeigen die ausgefüllten Arbeitsblätter, dass trotz gleicher Experimente eine große Bandbreite an (physikalischen) Erkenntnissen möglich ist.

Kapitel 9

Diskussion und Schlussbetrachtungen

Ziel der Studie war es, die Auswirkungen von Wahlmöglichkeiten in Experimentierphasen im Physikunterricht zu untersuchen, um damit eine inklusive Lernumgebung zu schaffen. Dazu wurde ein eigens entwickeltes Unterrichtskonzept (siehe Kapitel 4) in Form einer Unterrichtseinheit mit Wahlmöglichkeiten zwischen fünf Experimentierformen als Treatment ausgestaltet. In der Pilotstudie (siehe Kapitel 7) wurde dieses erprobt und überprüft, ob es die erwarteten Effekte auf Schüler*innenvariablen zeigt. Dazu zählen „Fachwissen (FW)“, die „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen (LLB)“, das „physikbezogene Selbstkonzept (SK)“, die „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren (SWE)“, die „intrinsische Motivation (KIM)“ und die „wahrgenommene Integration (Int.)“ der Schüler*innen. Letztere war jedoch nicht mehr Teil der Hauptstudie. In der Hauptstudie (siehe Kapitel 8) wurde das Treatment, das die Interventionsgruppe erhalten hat, einer Vergleichsgruppe gegenübergestellt, der zwei der fünf Experimentierformen vorgegeben wurden. Es wurden erneut die oben genannten Variablen der Schüler*innen erhoben. Zusätzlich wurden Daten aus den Reflexionsbögen der Lehrkräfte und den ausgefüllten Arbeitsblättern gesammelt.

9.1 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

9.1.1 Pilotierung

In der Pilotierung in Kapitel 7 zeigte sich eine Verbesserung der „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“, der „intrinsischen Motivation“, des „Selbstkonzeptes“ und der „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“. Bei den Variablen „Fachwissen“ und „Integration“ der Lernenden konnte keine Veränderung durch das Unterrichtskonzept festgestellt werden. Die getrennte Auswertung der Daten nach den beiden Lehrkräften ergab eine signifikante Verbesserung in allen Variablen mit Ausnahme der „Integration“ bei einer Lehrkraft (Lehrkraft 1). Dagegen ist keine Veränderung bzw. sogar eine teilweise Verschlechterung der gemessenen Schüler*innenvariablen bei der anderen Lehrkraft (Lehrkraft 2) zu verzeichnen. Das kann zum Teil auf die höheren Prätestwerte der Klassen dieser Lehrkraft im Vergleich zu Lehrkraft 1 zurückgeführt werden.

Zudem wurde in der Pilotstudie die Einflüsse der Anzahl und Art der bearbeiteten Experimente untersucht. Durch die ungleiche Verteilung der Klassen der teilnehmenden Lehrkräfte auf die gebildeten Cluster aus Experimentierformen können keine Aussagen bezüglich des Einflusses der Art der bearbeiteten Experimente getroffen werden. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass die Bearbeitung von vier bis fünf (und damit fast allen) Experimenten in der begrenzten Zeit sich negativ auf die Entwicklung der Schüler*innenvariablen auswirkt. Es wird vermutet, dass der resultierende Zeitdruck eine oberflächliche Bearbeitung zur Folge hatte.

9.1.2 Hauptstudie

Wie zuvor erwähnt, besteht das vorrangige Ziel der Hauptstudie in der Untersuchung der Auswirkungen von Wahlfreiheit auf verschiedene Schüler*innenvariablen. Die Ergebnisse zeigen, dass es signifikante Unterschiede in „wahrgenommener Wahlfreiheit“ zwischen der Interventions- und Vergleichsgruppe gibt, wobei die Interventionsgruppe diese stärker wahrnimmt (siehe Tabelle 8.4). Die Wahrnehmung dieser Wahlfreiheit durch die Schüler*innen zeigt, dass das Unterrichtskonzept die angebotenen Wahlmöglichkeiten auf eine für die Schüler*innen explizite und bedeutsame Weise umsetzt. Dies ist eine Grundvoraussetzung für die Untersuchung. Es ist hervorzuheben, dass die Gruppen nichts von der Existenz der jeweils anderen Gruppe wussten

und es sich somit nicht um ein sozial erwünschtes Antwortverhalten handelt, sondern dieser Unterschied aus der Unterrichtseinheit selbst resultiert. Im Folgenden werden die Ergebnisse der verschiedenen Skalen bzw. Variablen einzeln diskutiert.

Wahlfreiheit und Fachwissen

Die Ergebnisse in Abschnitt 8.6.3 zeigen, wie entscheidend die Erhebung und Berücksichtigung von Kovariaten ist. Ohne Berücksichtigung der kognitiven Fähigkeiten im Bereich der Figuren- und Wortanalogien (sprachliche und figurale Fähigkeiten) als Kovariaten, zeigen die Ergebnisse, dass beide Gruppen signifikant dazulernen und Wahlfreiheit keinen Einfluss auf den Erwerb von „Fachwissen“ hat. Unter Einbezug der Kovariaten ist der Messwiederholungseffekt jedoch nicht signifikant und die Vergleichsgruppe weist einen signifikant höheren Zuwachs an „Fachwissen“ auf als die Interventionsgruppe mit Wahlfreiheit. Dies bedeutet, dass bei Kontrolle von Störvariablen Wahlfreiheit keinen positiven Einfluss auf das „Fachwissen“ zeigt.

Der erwartete Effekt von Wahlfreiheit auf die Entwicklung des Fachwissens konnte somit in der vorliegenden Studie nicht nachgewiesen werden. In der Literatur sind die Befunde zur Wirkung von Wahlfreiheit auf Fachwissen und (fachlicher) Leistung nicht eindeutig. Während die Metaanalyse von PATALL et al. (2008) einen positiven Effekt von Wahlmöglichkeiten auf die Leistung zeigt, finden andere Studien (siehe FLOWERDAY und SCHRAW (2003), SCHRAW et al. (1998)) keinen Effekt dieser auf kognitive, sondern nur auf affektive Indikatoren des Engagements wie Interesse. Jedoch untersuchten diese Studien die Effekte der Themenwahl und nicht die der Methodenwahl, wie es in der vorliegenden Studie der Fall ist.

Vor allem beim Experimentieren sind die begrenzten kognitiven Ressourcen ausgeschöpft, da viele Tätigkeiten gleichzeitig ausgeführt werden müssen. Dazu gehören das Lesen der Anleitung, die eigenhändige Durchführung der Experimentierschritte sowie das Beobachten und Dokumentieren der Ergebnisse. Wenn sich Schüler*innen sehr intensiv mit ihrer Wahl beschäftigen, kann dies den Cognitive Load erhöhen und damit zu einer Überforderung und zu einem sogenannten „Choice Overload“ (siehe Abschnitt 2.4.2) führen. Dadurch können sie weniger lernen als die Schüler*innen in der Vergleichsgruppe, die die Experimente vorgegeben bekamen. Auch andere Formen des

selbstgesteuerten Lernens, wie beispielsweise der Einsatz gestufter Hilfen, scheinen beim Experimentieren weniger effektiv zu sein (WODZINSKI, 2022b). Experimentieren ist ein komplexer Prozess und insbesondere selbstgesteuerte Formen von Schüler*innenexperimenten sind kognitiv anspruchsvoll (ARNOLD, 2015; KIRSCHNER et al., 2006; SCHMIDT et al., 2019). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Wahlfreiheit beim Experimentieren eine zusätzliche Belastung darstellt. Auch ZACHER (2020) fand in ihrer Studie, dass Schüler*innen fehlende Wahlmöglichkeiten positiv empfanden, obwohl nur vier Möglichkeiten angeboten wurden, die basierend auf theoretischen und empirischen Erkenntnissen noch nicht zu einer Überforderung führen sollten (PATALL et al., 2008; SCHWARTZ, 2000) (siehe auch Abschnitt 2.4.2). Die Autorin fand, dass die Mehrheit der Schüler*innen die Vorgabe eines Arbeitsauftrages gegenüber einer Wahl bevorzugt, und erklärt diesen Befund damit, dass Schüler*innen im Schulalltag eher an Vorgaben gewöhnt sind. Auch in der vorliegenden Studie stellt das Angebot von Wahlmöglichkeiten sicherlich eine ungewohnte Situation für die teilnehmenden Schüler*innen dar. Möglicherweise stellen sich die erwarteten positiven Effekte erst ein, wenn die Methode schrittweise in den Unterrichtsalltag integriert wird. Um den Cognitive Load beim Experimentieren zu reduzieren, können Unterstützungsmöglichkeiten eingesetzt werden. SCHMIDT et al. (2019) untersuchten den Cognitive Load beim Experimentieren im Biologieunterricht und fanden, dass Unterstützungen wie Schritt-für-Schritt-Anleitungen den Cognitive Load wirksam reduzieren können. In der vorliegenden Studie wurde ebenfalls diese Experimentierform eingesetzt und somit besteht die Möglichkeit, dass die Schüler*innen, die diese Form bearbeiteten, vergleichsweise hohe Fachwissenszuwächse aufweisen. Eine Überprüfung dieser Vermutung war jedoch auf Grundlage der erhobenen Daten nicht möglich. Ein Indiz dafür stellt jedoch der signifikant höhere Zuwachs an „Fachwissen“ der Vergleichsgruppe dar, die diese Experimentierform bearbeiten musste.

Wahlfreiheit und Einschätzung der Unterrichtsbedingungen

Für die Gesamtskala „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“ werden keine Effekte signifikant. Zudem sind die Teststärken dieser Skala zu gering. Daher können weder die Nullhypothesen noch die Alternativhypothesen angenommen werden und keine Effekte sind aussagekräftig.

Allerdings zeigen sich in den Subskalen zum Teil interpretierbare Effekte. Die „soziale Einbindung“ verbessert sich in beiden Gruppen mit kleinem Effekt. In der Interventionsgruppe steigt zudem die wahrgenommene „Autonomieunterstützung“ mit kleinem Effekt. Beide Treatments scheinen die wahrgenommene „soziale Einbindung“ gleichermaßen zu fördern. Dies könnte auf die freie Wahl der Sozialformen zurückzuführen sein, die in beiden Treatments enthalten war. Erwartungsgemäß wurde eine positive Entwicklung der „Autonomieunterstützung“ in der Interventionsgruppe gefunden. Die Daten zeigen zudem eine schwache positive Korrelation der „wahrgenommenen Wahlfreiheit“ und der „Autonomieunterstützung“ (siehe Abb. 8.4). Es trat jedoch interessanterweise kein signifikanter Effekt des Angebots von Wahlmöglichkeiten auf die wahrgenommene „Autonomieunterstützung“ auf. Eine Verbesserung ist erkennbar, aber nicht ausreichend, um messbare Unterschiede zwischen den Gruppen festzustellen. Dieses Ergebnis widerspricht der Annahme der Selbstbestimmungstheorie, dass ein höheres Autonomiegefühl durch die Bereitstellung von Wahlmöglichkeiten erreicht werden kann (RYAN & DECI, 2000).

Wahlfreiheit und Selbstkonzept sowie Selbstwirksamkeitserwartung

Es bestehen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen hinsichtlich des „Selbstkonzepts“. Während die Vergleichsgruppe ihr „Selbstkonzept“ von Prä- zu Posttest signifikant verbessern konnte, gab es in der Interventionsgruppe keine signifikante Veränderung. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Gruppe, der zwei klassische Experimentierformen vorgegeben wurden, und zwar ein offenes Freihand- und ein angeleitetes Experiment, ein positiveres „physikbezogenes Selbstkonzept“ entwickelt. Diese Beobachtung wirft die Frage auf, ob diese spezifischen Formen des Experimentierens stärker zur Entwicklung eines Selbstkonzepts beitragen können als andere Experimentierformen. Angeleitete Experimente bieten strukturierte Möglichkeiten, physikalische Phänomene schrittweise zu erforschen und stellen oftmals das dar, was sich Schüler*innen unter Experimentieren vorstellen. Offenere Formen des Experimentierens üben den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess durch das Formulieren von Forschungsfragen und das Planen und Durchführen eigener Experimente. Inwieweit diese Formen des Experimentierens jedoch zu einer Verbesserung des physikbezogenen Selbst-

konzepts beitragen können und welche Form dafür entscheidend ist, bedarf weiterer Untersuchungen.

Hinsichtlich der „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“ verbessern sich sowohl die Interventions- als auch die Vergleichsgruppe. Über den Einfluss der Wahlfreiheit auf diese Entwicklung kann aufgrund der geringen Teststärke keine Aussage getroffen werden. Offenbar reicht das Experimentieren (mit oder ohne Wahlmöglichkeiten) aus, um die Selbstwirksamkeitserwartung zu verbessern.

Wahlfreiheit und intrinsische Motivation

Analog zu der Skala „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“ zeigt sich ebenfalls in der Gesamtskala der „intrinsischen Motivation (KIM)“ kein Unterschied zwischen den Gruppen. Allerdings konnte in der Subskala „Interesse und Vergnügen“ ein signifikanter Unterschied mit kleinem Effekt zugunsten der Interventionsgruppe festgestellt werden. In den anderen Subskalen „Druck und Anspannung“, „wahrgenommene Kompetenz“ und überraschenderweise „wahrgenommene Wahlfreiheit“ sind keine Unterschiede zwischen den Gruppen zu finden. „Druck und Anspannung“ werden in beiden Gruppen relativ hoch eingeschätzt ($M_{INT} = 2,21$; $M_{VGL} = 2,14$). Dies kann damit begründet werden, dass Experimentieren durch die vielen gleichzeitigen Handlungen (siehe Abschnitt Wahlfreiheit und Fachwissen) eine angespannte Situation für die Schüler*innen darstellen kann. Entgegen den Annahmen der Selbstbestimmungstheorie scheint das Kompetenzerleben nicht durch das Angebot von Wahlmöglichkeiten beeinflusst zu werden. Am überraschendsten sind jedoch die Ergebnisse der Subskala „wahrgenommene Wahlfreiheit“ der KIM. Diese zeigt keine Unterschiede zwischen den Gruppen, obwohl die ebenfalls verwendete Langversion⁵⁰ dieser Subskala aus dem IMI (siehe Abschnitt 6.1.6) signifikante Unterschiede misst (vgl. Tabelle 8.4). Dieses Ergebnis wirft Bedenken hinsichtlich der Zuverlässigkeit des verwendeten Testinstruments KIM (siehe Abschnitt 6.1.5) auf, da die Kurzversion eines Tests bei angemessener Stichprobengröße vergleichbare Ergebnisse wie die Langversion produzieren sollte.

50 In der Studie wurden sowohl die Subskala „wahrgenommene Wahlfreiheit“ aus dem IMI von DECI und RYAN (2003) als auch die KIM von WILDE et al. (2009), die eine Kurzversion des IMI darstellt, eingesetzt.

Der aufgrund des Forschungsstandes in Abschnitt 2.4 vermutete positive Effekt auf die allgemeine „intrinsische Motivation“ konnte in der vorliegenden Studie nicht gefunden werden. Die „intrinsische Motivation“ setzt sich aus vier Subskalen zusammen. Während die Subskalen „Druck und Anspannung“, „wahrgenommene Kompetenz“ und „wahrgenommene Wahlfreiheit“ die intrinsische Motivation indirekt messen, misst die Subskala „Interesse und Vergnügen“ diese direkt (siehe Abschnitt 6.1.5). Somit erscheint diese Subskala, die einen signifikanten Unterschied zugunsten der Interventionsgruppe gezeigt hat, als die aussagekräftigste. Die Diskrepanz zwischen dem Stand der Forschung und den Ergebnissen dieser Studie beschränkt sich somit auf die Subskalen, die die intrinsische Motivation indirekt messen und daher weniger relevant erscheinen.

Weitere Ergebnisse

In den Daten konnten zudem vermutete Zusammenhänge zwischen den Variablen in Form von Korrelationen (siehe Abb. 8.4) reproduziert werden. Um dieses Nebenergebnis der vorliegenden Studie genauer zu untersuchen, wäre jedoch eine Analyse von Strukturgleichungsmodellen erforderlich. Weitere Zusammenhänge können den Tabellen A.9 und A.10 entnommen werden. Diese können Hinweise auf weitere Untersuchungsmöglichkeiten geben.

In den Reflexionen in Abschnitt 8.7 sahen die befragten Lehrkräfte ein Potenzial von Wahlmöglichkeiten beim Experimentieren in der Förderung affektiver Merkmale wie Motivation sowie in der Differenzierung. Diese Einschätzungen zeigen sich ebenfalls in der Studie von ZACHER (2020), in der Lehrkräfte angaben, dass Wahlmöglichkeiten die Lernmotivation verbessern und die Individualität der Schüler*innen fördern. Die Einschätzung der Lehrkräfte deckt sich mit den Schüler*innendaten, in denen ein Effekt von Wahlmöglichkeiten auf das Interesse und Vergnügen nachgewiesen werden konnte. Allerdings sehen die Lehrkräfte zusätzlich ein Potenzial von Wahlmöglichkeiten als Differenzierungsmaßnahme, das auf Schüler*innenebene nicht erhoben wurde.

Die ausgefüllten Arbeitsblätter der Schüler*innen zeigen, dass trotz gleicher Experimente eine große Bandbreite an (physikalischen) Erkenntnissen möglich ist. In den Reflexionen der Lehrkräfte (siehe Abschnitt 8.7) wurde zwar angedeutet, dass es teilweise Probleme mit der Dokumentation der Experi-

mentierungsergebnisse gab, jedoch scheint der Lernprozess der Schüler*innen ebenfalls sehr individuell zu sein. Trotz der Standardisierung der Experimente und der Experimentieranleitungen sind die erzielten Ergebnisse vielfältig, was auf unterschiedliche Interpretationen der Experimentierungsergebnisse durch die Schüler*innen hindeutet. Dieser Befund unterstreicht die Bedeutung einer Differenzierung im Unterricht, die den individuellen Lernbedürfnissen Rechnung trägt.

9.1.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Insgesamt weisen die Daten darauf hin, dass sich Experimentierphasen *ohne* Wahlfreiheit positiv auf die Entwicklung des Fachwissens und des physikbezogenen Selbstkonzepts auswirken. Wahlfreiheit beim Experimentieren zeigt hingegen einen positiven Einfluss auf das Interesse.

Um den Effekt von Wahlfreiheit weiter untersuchen zu können, wird empfohlen, diesen in Zukunft in experimentellen Designs besser zu isolieren. Hierzu können die Hinweise aus der Metastudie von PATALL et al. (2008) herangezogen werden. In der vorliegenden Studie unterscheiden sich die Gruppen zwar signifikant in ihrer wahrgenommenen Wahlfreiheit, aber auch die Vergleichsgruppe nimmt Wahlfreiheit wahr.

9.2 Beantwortung der Forschungsfragen

Im Folgenden werden die Forschungsfragen aus Abschnitt 5.1 beantwortet, indem auf die Hypothesen auf Grundlage der empirischen Erkenntnisse dieser Studie Bezug genommen wird.

F1: Nehmen die Gruppen, die Wahlmöglichkeiten in der Experimentierphase angeboten bekommen, diese als Wahlfreiheit wahr?

Die Interventionsgruppe schätzt ihre Wahlfreiheit signifikant höher ein als die Vergleichsgruppe ($p = .005$, $\eta^2 = .01$). Dies deutet darauf hin, dass die Interventionsgruppe ein Bewusstsein über ihre Wahlmöglichkeiten zeigt.

F2: Inwieweit wirkt sich Wahlfreiheit in der Experimentierphase auf die intrinsische Motivation der Schüler*innen aus?

Insgesamt zeigt sich kein Einfluss von Wahlfreiheit auf die „intrinsische Motivation“.

In der Subskala „Interesse und Vergnügen“ weist die Interventionsgruppe signifikant höhere Werte auf als die Vergleichsgruppe (kleiner Effekt).

F3: Unterscheidet sich der Fachwissenzuwachs der Gruppen mit Wahlfreiheit im Vergleich zu den Gruppen ohne Wahlfreiheit?

Ohne Einbezug von Kovariaten lernen beide Gruppen signifikant dazu mit kleinem Effekt. Dabei unterscheiden sich die Gruppen in ihrem Fachwissenzuwachs nicht signifikant. Mit den Kovariaten „sprachliche und figurale Fähigkeiten“ weist die Vergleichsgruppe einen signifikant höheren Zuwachs an „Fachwissen“ auf als die Interventionsgruppe mit einem kleinen Effekt.

F4: Schätzen Schüler*innen, die Wahlmöglichkeiten in der Experimentierphase angeboten bekommen, ihren Unterricht positiver ein als Schüler*innen, die eine Experimentiersituation vorgegeben bekommen?

Aufgrund zu geringer Teststärke ist insgesamt keine Aussage für die Skala LLB möglich. In den Subskalen „soziale Einbindung“ und „Autonomieunterstützung“ wird der Haupteffekt Messzeitpunkt signifikant mit kleinem Effekt. Beide Gruppen verbessern sich signifikant zwischen den Messzeitpunkten im Hinblick auf die wahrgenommene „soziale Einbindung“. Nur die Interventionsgruppe verbessert sich signifikant in der wahrgenommenen „Autonomieunterstützung“. Aufgrund zu geringer Teststärke ist allerdings keine Aussage möglich, ob Wahlfreiheit dabei einen Einfluss auf die Entwicklung der Subskalen zeigt.

F5: Inwieweit wirkt sich Wahlfreiheit in der Experimentierphase auf das physikbezogene Selbstkonzept und die Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren der Schüler*innen aus?

Zwischen den Messzeitpunkten bestehen signifikante Unterschiede in der Entwicklung des SKs mit kleiner Effektstärke. Die Vergleichsgruppe entwickelt sich im SK signifikant besser als die Interventionsgruppe mit kleinem Effekt.

Die Daten zeigen eine signifikante Verbesserung der SWE in beiden Gruppen mit einem kleinen Effekt. Über den Einfluss der Wahlfreiheit auf diese Entwicklung kann jedoch aufgrund der zu geringen Teststärke keine Aussage getroffen werden.

F6: Sehen die Lehrkräfte den Unterricht mit Wahlfreiheit in der Experimentierphase positiver als ohne Wahlfreiheit?

Hinsichtlich der „affektiven Merkmale“ und der „Differenzierung“ beurteilen die Lehrkräfte den Unterricht mit Wahlfreiheit in der Experimentierphase positiver als den Unterricht ohne Wahlfreiheit. In den anderen Kategorien („Sicherheit“, „überfachliche Kompetenzen“, „Experimentierkompetenz“, „Unterrichtsqualität“ und „Fachwissen“) unterscheiden sich die Einschätzungen der beiden Gruppen nicht oder nur geringfügig. Für die Kategorie „Inklusionsaspekte“ kann aufgrund der geringen Anzahl von Aussagen keine eindeutige Tendenz berichtet werden.

F7: Welche Aspekte werden von den Lehrkräften in Bezug auf den Ablauf und die Durchführung der Treatments in der Reflexion aufgeführt?

Die Lehrkräfte berichteten, dass ihre Schüler*innen motiviert und mit Spaß experimentierten. In ihren Reflexionen führten die Lehrkräfte verschiedene Gelingensbedingungen bei der Durchführung der Unterrichtseinheiten an. Dazu gehörten die Kompaktheit der Einheit, die einfache Vorbereitung sowie die Transparenz des Ablaufs, die vermutlich eine reibungslose Umsetzung ermöglichte. Die Gestaltung als Stationenarbeit wurde ebenfalls positiv hervorgehoben. Zudem wurde die Schüler*innenorientierung der Einheiten betont, die auch den Einsatz von Materialien aus der Lebenswelt der Schüler*innen mit einschließt.

Die Reflexionen der Lehrkräfte offenbarten hingegen ebenfalls verschiedene Barrieren, die den Ablauf und die Durchführung der Treatments beeinträchtigen könnten. Dazu gehörten Bedenken hinsichtlich der Verwendung von Wasser in einem Experiment, da dies möglicherweise zu einer Verschmutzung des Fachraums geführt hat. Des Weiteren wurde angemerkt, dass Experimentiererergebnisse mitunter selten notiert wurden, was eine Herausforderung für die weitere Auswertung und Nachbereitung der Experimente darstellen könnte. Die Beschaffung von Tablets wurde als schwierig empfunden, was auf eine unzureichende Ausstattung der Schule hinweist und die Umsetzung digital gestützter Lehr- und Lernmethoden behindern könnte. Darüber hinaus wurde zum Teil im Kontrast zu den zuvor genannten Gelingensbedingungen ein fehlender Alltagsbezug der Experimente bemängelt. Zudem wurde die

Durchführung des angeleiteten Schüler*innenexperiments durch unsaubere Reagenzgläser beeinträchtigt.

9.3 Limitationen der Studie

Im folgenden Abschnitt werden die Limitationen der vorliegenden Studie dargestellt und diskutiert, um Einschränkungen und potenziellen Auswirkungen auf die Interpretation der Ergebnisse zu beleuchten.

9.3.1 Follow-up

Um mittel- bis langfristige Effekte eines Treatments erfassen zu können, sind Follow-up-Untersuchungen notwendig (DÖRING & BORTZ, 2016). In dieser Studie war aufgrund der Rahmenbedingungen (siehe dazu Abschnitt 5.4.4) keine Follow-up-Untersuchung in den einzelnen Klassen möglich. Da die Unterrichtseinheiten mit zwei Doppelstunden allerdings zu den Kurzinterventionen zählen, ist die Messung von Langzeiteffekten weniger relevant. Kurze Treatments zielen in der Regel auf kurzfristige Veränderungen ab. In der vorliegenden Studie sind dies Fachwissen und motivational-affektive Variablen. Um diese Variablen längerfristig in Klassen zu verbessern, ist ein wiederholter Einsatz von Schüler*innenexperimentierphasen notwendig.

9.3.2 Auswahl der Stichprobe

Die Akquisition der teilnehmenden Klassen erfolgte im Rahmen einer Lehrkräftefortbildung zum inklusiven Experimentieren sowie durch Lehrkräfteverteiler und Kontakte über die Universität. Damit liegt eine nicht-probabilistische Gelegenheitsstichprobe vor (DÖRING & BORTZ, 2016). Die Aussagekraft solcher Stichproben ist begrenzt, da sie auf keine klare Definition der Zielpopulation und auch auf keinen definierten Auswahlrahmen zurückgehen. Damit liegt für die Ergebnisse der vorliegenden Studie kein Anspruch auf eine statistische Repräsentativität vor. Die Studie wurde zudem vorwiegend an hessischen Schulen durchgeführt.

9.3.3 Weitere Einflüsse

Um weitere Einflüsse auf die abhängigen Variablen FW, LLB, SK, SWE, KIM und WW sowie V3 und N2 des KFTs zu identifizieren, werden im Folgenden Korrelationen betrachtet. Zu diesen möglichen Einflüssen gehört, ob die Lehrkraft an der Fortbildung teilgenommen hat (TN Fortbildung), die Schulform

und der Standort der Schule (Stadt / Land). Bei „TN Fortbildung“ und „Stadt/ Land“ handelt es sich um dichotome Variablen und daher wird nach (BÜHNER & ZIEGLER, 2009) die punktbiserale Korrelation mit den abhängigen (metrischen) Variablen ermittelt. Diese wird in SPSS mit der Pearson-Korrelation berechnet und ist in den Tabellen A.9 und A.10 zu finden.

Die Teilnahme an der Fortbildung korreliert mittel mit der „Einschätzung der LLB“ ($r = -.338$). Eine anschließende zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung auf dem Faktor „Teilnahme an der Fortbildung“ konnte feststellen, dass es in der Tat einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen (Fortbildung, keine Fortbildung) mit kleinem Effekt gibt ($F(1,488) = 15.48, p < .001$, partielles $\eta^2 = .03$). Die Klassen, deren Lehrkräfte an der Fortbildung teilgenommen haben, verschlechtern sich jedoch in den Mittelwerten von Prä- zu Posttest, während sich die Klassen ohne Fortbildung verbessern. Dies kann eine mögliche Erklärung dafür sein, dass für die „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“ keinerlei Effekte wegen unzureichenden Teststärken festgestellt werden konnten.

Der Standort der Schule (Stadt oder Land) korreliert mittel mit den Wortanalogien ($r = -.466$) und Figurenanalogien ($r = -.403$) sowie mit dem „Fachwissen“ ($r = -.327$ für FW Prätest, $r = -.390$ für FW Posttest). Der Standort der Schule scheint somit eine Rolle zu spielen. Da die Interventionsgruppe einen höheren prozentualen Anteil an städtischen Schulen enthält, kann dies ebenfalls einen weiteren Einfluss auf die Ergebnisse haben. Dieser Einfluss kann jedoch nicht mit einer ANOVA geprüft werden, da die beiden Gruppen (Stadt oder Land) sich in ihrer Größe stark unterscheiden.

Für den Einfluss der Schulform kann nicht die Pearson-Korrelation verwendet werden, da die Schulformen nicht-dichotom und nominalskaliert sind. Hierfür wird als Korrelationskoeffizient η berechnet (siehe Tabelle 9.1). Der Wertebereich für η liegt zwischen 0 und 1. Um die Stärke des Zusammenhangs zu interpretieren, wird jedoch oftmals η^2 betrachtet (ebenfalls in Tabelle 9.1 zu finden), da es als Verhältnis der erklärten Variation zur Gesamtvariation als Effektstärkemaß für ANOVAs zum Einsatz kommt (BENNINGHAUS, 2007). Ab einem Wert von .14 kann man bereits von einem starken Zusammenhang sprechen (DÖRING & BORTZ, 2016). Somit liegt eine starke Korrelation der Schulform mit dem „Fachwissen“ vor. Da die Schulformen auf

die Interventions- und Vergleichsgruppe nicht gleich verteilt waren, könnte dies zu einer Verzerrung der Ergebnisse für das „Fachwissen“ geführt haben.

9.3.4 Hierarchische Datenstruktur

Die vorliegende Studie war als Feldstudie konzipiert (siehe Abschnitt 5.2). Die Erhebung fand in Klassen statt, wodurch eine hohe ökologische Validität (DORSCH & WIRTZ, 2020) gewährleistet wurde. Diese Vorgehensweise führte jedoch zu einer hierarchischen Datenstruktur, die die Ebenen Lehrkräfte, Klassen und (einzelne) Schüler*innen umfasste. Klassische Analysemethoden wie die in dieser Studie verwendeten ANOVAs oder ANCOVAs berücksichtigen jedoch keine solchen Hierarchien und gehen von unabhängigen Daten aus (siehe Abschnitt 8.2). Obwohl die Durchführung der Treatments in den Klassen standardisiert war, ist anzunehmen, dass sich die Schüler*innen innerhalb der Klassen ähnlicher sind als Schüler*innen aus verschiedenen Klassen (HOX, 2010). Somit kann die Vernachlässigung dieser hierarchischen Struktur bei der Datenanalyse potenziell zu Verzerrungen führen und damit die Ergebnisse beeinflussen. Durch die Verletzung der Unabhängigkeitsannahme sind die Schätzungen der Standardfehler „klassischer“ statistischer

Tabelle 9.1: Korrelationen der Variablen mit der Schulform.

Skala	Messzeitpunkt	η	η^2
Fachwissen	Prä	.41	.16
	Post	.42	.17
Lehr- und Lernbedingungen	Prä	.13	.02
	Post	.28	.08
Selbstkonzept	Prä	.16	.03
	Post	.08	.01
Selbstwirksamkeitserwartung	Prä	.04	<.01
	Post	.06	<.01
Intrinsische Motivation		.24	.06
Wahrg. Wahlfreiheit		.24	.06

Tests zu klein, was zu vermeintlich signifikanten Ergebnissen führen kann (HOX, 2010).⁵¹ Um hierarchische Daten in Analysen abzubilden, werden diese mit Mehrebenenanalysen ausgewertet (FIELD, 2013).

Während in Studien wie SCHOPPEK (2015) oder PARK (2020) klassische Varianzanalysen vergleichbare Ergebnisse wie Mehrebenenanalysen lieferten, sind die signifikanten Ergebnisse der vorliegenden Studie daher mit Vorsicht zu interpretieren.

9.4 Fazit und Ausblick

Wahlmöglichkeiten bringen Flexibilität ins Lernen, die es den Schüler*innen ermöglicht, eigene Lernwege zu vollziehen (PRICE et al., 2012). Die nach dem Stand der Forschung (siehe Kapitel 2) erhofften positiven Effekte auf Fachwissen, Selbstkonzept und Selbstwirksamkeitserwartung konnten in dieser Studie jedoch nicht beobachtet werden. Grundsätzlich stellt sich die Frage, welche Ziele mit dem Einsatz von Schüler*innenexperimenten im Physikunterricht verfolgt werden und welche Effekte davon als empirisch gesichert gelten können. Diese Ziele und Effekte wurden in Abschnitt 2.2.2 und Abschnitt 2.2.4 diskutiert. Auch in dieser Studie zeigte sich, dass nicht alle Ziele oder Effekte, die in anderen Studien gefunden oder in den Theorien vorhergesagt wurden, mit einer einzigen Methode erreicht werden können. Dennoch lassen sich aus den Ergebnissen dieser Studie verschiedene Empfehlungen für die schulische Praxis ableiten.

9.4.1 Fazit

Um das Interesse der Schüler*innen zu fördern, bietet sich das Angebot von Wahlmöglichkeiten beim Experimentieren an. Auch außerhalb des Experimentierens ist Wahlfreiheit ein geeignetes Mittel, um die Entwicklung von Motivation und Interesse zu unterstützen. Da Schüler*innenexperimente aus Sicht der Physikdidaktik und Lehrkräften auch das Ziel haben, Motivation und Interesse zu fördern, sind Wahlmöglichkeiten beim Experimentieren geeignet, um dieses Anliegen zu erreichen.

Des Weiteren kann es vorteilhaft sein, klassische oder traditionelle Physikexperimente einzusetzen, um das physikbezogene Selbstkonzept der Schü-

51 Die Ergebnisse verschiedener Skalen, u.a. „wahrgenommene Wahlfreiheit“ und „Interesse und Vergnügen“ sind möglicherweise nur scheinbar signifikant.

ler*innen zu verbessern, da diese möglicherweise die Natur des Faches aus Sicht der Schüler*innen eher widerspiegeln. In der Vergleichsgruppe wurden klassische Formen des Experiments (angeleitetes Kochbuch- und offenes Freihandexperiment) eingesetzt und das Selbstkonzept dieser Gruppe verbesserte sich signifikant gegenüber der Interventionsgruppe.

Um das Fachwissen der Schüler*innen gezielt zu fördern, sollten Experimente ausgewählt werden, die sich auf den gewünschten physikalischen Bereich konzentrieren und eine vertiefte Auseinandersetzung mit dem Thema ermöglichen. Indem die Experimente auf die spezifischen Lernziele abgestimmt werden, können die Schüler*innen ein fundiertes Verständnis für die behandelten physikalischen Konzepte entwickeln und darin ihr Fachwissen erweitern. Im Rahmen der Treatments wurde Lichtbrechung am Beispiel des Kontextes „Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit von transparenten Objekten“ vermittelt. Im Fachwissenstest wurde hingegen allgemeines Wissen zur Lichtbrechung abgefragt. Kontexte stellen komplexe Lerngelegenheiten dar und der Erwerb von Fachwissen in einem isolierten Bereich kann dadurch nicht immer gefördert werden.

Abschließend ist anzumerken, dass das Erreichen der vielfältigen Ziele des Physikunterrichts, und damit letztlich einer naturwissenschaftlichen Grundbildung, wie sie in Kapitel 1 beschrieben ist, nur durch Methodenvielfalt erreicht werden kann. Es ist unabdingbar, dass sich der Physikunterricht nicht ausschließlich auf das Zeigen oder Durchführen von Experimenten beschränkt, sondern auch andere Methoden einbezieht.

Dennoch konnte in Lehrkräftefortbildungen eine durchweg positive Resonanz seitens der Lehrkräfte bezüglich des Unterrichtskonzepts verzeichnet werden. Darüber hinaus haben die Schüler*innen während Unterrichtsbesuchen in einzelnen Klassen mit Freude und Begeisterung experimentiert.

9.4.2 Ausblick: Passung schaffen durch andere Ansätze

Um eine Passung von Unterrichtsmethoden und (heterogenen) Lernvoraussetzungen zu erreichen, gibt es neben dem Angebot von Wahlmöglichkeiten den Aptitude Treatment Interaction-Ansatz (ATI) und den Response to Intervention-Ansatz (RTI) (BLUMENTHAL et al., 2014). Der ATI-Ansatz geht davon aus, dass die Wirksamkeit einer Intervention von dem „Match“, also der Passung zwischen Schüler*innenmerkmalen („Aptitudes“) und den Un-

terrichtsmethoden („Treatments“) abhängt (GRÄSEL et al., 2017; YEH, 2012). Als Schwäche dieses Ansatzes wird u.a. kritisiert, dass kaum stabile Wechselwirkungen zwischen Schüler*innenmerkmalen und Unterrichtsmethoden bisher gefunden wurden (BLUMENTHAL et al., 2014). Studien wie die von GÜTH und VAN VORST (2024) und WILDE et al. (2018) sind diesem Ansatz zuzuordnen und haben empirisch gefunden, dass die Passung zwischen Lerngegenstand und Lernendem entscheidend ist. Die Passung wirkt sich am stärksten auf die intrinsische Motivation und das Interesse aus, wenn sie nicht durch eine Wahl, sondern durch eine Zuteilung erreicht wurde. In der Studie von GÜTH und VAN VORST (2024) wurde diese Passung mithilfe eines künstlichen neuronalen Netzes identifiziert. Das flexible Gruppieren nach lernzielrelevanten Voraussetzungen stellt eine weitere Möglichkeit dar, nach diesem Ansatz eine Passung zu erzielen (FRIESEN et al., 2021).

Der Response-to-Intervention-Ansatz stellt laut LIMBACH-REICH (2021) ein Schulprogramm zur Verbesserung der Schulleistungen von Lernenden dar, welche ein Risiko in Kernbereichen wie Schreiben, Lesen und Rechnen aufzeigen. Die Verbesserung wird durch ein dreistufiges Förderangebot mit regelmäßigen Leistungstests erreicht. Der RTI-Ansatz schafft eine Passung, indem Lernschwierigkeiten frühzeitig identifiziert und geeignete Interventionen und Differenzierungsmaßnahmen bereit gestellt werden (ENNEMOSER & BESCA, 2021). Die Leistungstests führen jedoch oft zu einer Überdiagnose und zu einer permanenten Anspannung der Schüler*innen (LIMBACH-REICH, 2021).

Basierend auf diesen beiden Ansätzen könnte in weiteren Studien untersucht werden, ob beim Experimentieren Wahlfreiheit oder die Passung entscheidend ist. Darüber hinaus könnte die Möglichkeit einer Diagnose erkundet werden, entweder durch Leistungstests analog zum RTI-Ansatz oder durch neuronale Netze, die verschiedene Voraussetzungen der Lernenden zur Identifikation der idealen Experimentierform für das Individuum einbeziehen.

Literatur

- ABELS, S., & HÜFNER, S. (2022). Kontexte zur Professionalisierung für inklusiven Nawi-Unterricht. In S. HABIG & H. van VORST (Hrsg.), *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, virtuelle Jahrestagung 2021* (S. 410–413). (siehe S. 42, 43).
- ABRAHAMS, I. (2009). Does Practical Work Really Motivate? A study of the affective value of practical work in secondary school science. *International Journal of Science Education*, 31(17), 2335–2353. (siehe S. 18, 20, 25).
- ABRAHAMS, I., & MILLAR, R. (2008). Does Practical Work Really Work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945–1969. (siehe S. 17, 19, 20).
- ABRAHAMS, I., & SAGLAM, M. (2010). A Study of Teachers' Views on Practical Work in Secondary Schools in England and Wales. *International Journal of Science Education*, 32(6), 753–768. (siehe S. 18).
- ALEXANDER, P. A., KULIKOWICH, J. M., & JETTON, T. L. (1994). The Role of Subject-Matter Knowledge and Interest in the Processing of Linear and Nonlinear Texts. *Review of Educational Research*, 64(2), 201–252. (siehe S. 25).
- ALFIERI, L., BROOKS, P. J., ALDRICH, N. J., & TENENBAUM, H. R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology*, 103(1), 1–18. (siehe S. 47).

- ARNOLD, J. (2015). *Die Wirksamkeit von Lernunterstützungen beim Forschenden Lernen: eine Interventionsstudie zur Förderung des Wissenschaftlichen Denkens in der gymnasialen Oberstufe*. Logos Verlag. (siehe S. 160).
- ARPIT, S., & JAYA, T. (Hrsg.). (2023). *Properties and Applications of Supersorbent Polymers: Smart Applications with Smart Polymers*. Springer Nature. (siehe S. 38).
- ASSOR, A., KAPLAN, H., & ROTH, G. (2002). Choice is good, but relevance is excellent: Autonomy-enhancing and suppressing teacher behaviours predicting students' engagement in schoolwork. *British Journal of Educational Psychology*, 72(2), 261–278. (siehe S. 27–29).
- BANDURA, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. W. H. Freeman. (siehe S. 25–27, 30).
- BANDURA, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*, 84(2), 191. (siehe S. 27).
- BAUMANN, T., KIESERLING, M., STRUCKHOLT, S., & MELLE, I. (2018). Verbrennungen - Eine Unterrichtseinheit für inklusiven Unterricht. *CHEMKON*, 25(4), 160–170. (siehe S. 13).
- BAUR, A., EMDEN, M., & BEWERSDORFF, A. (2019). Welche Unterrichtsprinzipien sollten für den Aufbau von Kompetenzen zum Experimentieren Beachtung finden? Eine Ableitung auf Basis multiperspektivisch begründeter Unterrichtsziele. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB) - Biologie Lehren und Lernen*, 10–24. (siehe S. 13).
- BAUR, A., HUMMEL, E., EMDEN, M., & SCHRÖTER, E. (2020). Wie offen sollte offenes Experimentieren sein? Ein Plädoyer für das geöffnete Experimentieren. *MNU*, 73(2), 125–128. (siehe S. 48, 49, 58).
- BEATTY, J., & WOOLNOUGH, B. (1982). Practical Work in 11-13 Science: The context, type and aims of current practice. *British Educational Research Journal*, 8(1), 23–30. (siehe S. 18).
- BEAUFTRAGTER DER BUNDESREGIERUNG FÜR DIE BELANGE VON MENSCHEN MIT BEHINDERUNGEN. (2023). *UN-Behindertenrechtskonvention*. Behindertenbeauftragter. Zugriff 3. Okt. 2023 unter <https://www.behindertenbeauftragter.de/DE/AS/rechtliches/un-brk/un-brk-node.html> (siehe S. 6).

-
- BELL, R., SMETANA, L., & BINNS, I. (2005). Simplifying inquiry instruction. *National Science Teachers Association*, 72(7). (siehe S. 48, 49).
- BENNINGHAUS, H. (2007). Die Beschreibung der Beziehung zwischen einer nominalen und einer metrischen Variablen. In *Deskriptive Statistik* (S. 228–249). VS Verlag für Sozialwissenschaften. (siehe S. 168).
- BERGIN, D. A. (1999). Influences on classroom interest. *Educational Psychologist*, 34(2), 87–98. (siehe S. 25).
- BERLYNE, D. E. (1974). *Konflikt, Erregung, Neugier: zur Psychologie der kognitiven Motivation* (1. Aufl). Klett. (siehe S. 23).
- BERTELSMANN STIFTUNG. (2015). *Inklusion in Deutschland. Daten und Fakten*. Bertelsmann Stiftung. Gütersloh. (siehe S. 6).
- BLUMENTHAL, Y., KUHLMANN, K., & HARTKE, B. (2014). Diagnostik und Prävention von Lernschwierigkeiten im Aptitude Treatment Interaction- (ATI-) und Response to Intervention- (RTI-) Ansatz. In M. HASSELHORN, W. SCHNEIDER & U. TRAUTWEIN (Hrsg.), *Lernverlaufsdiagnostik* (S. 61–81). Hogrefe. (siehe S. 171, 172).
- BOHL, T., & WACKER, A. (2021). Flexible Individualisierung. *PÄDAGOGIK*, (2), 44–47. (siehe S. 43, 45, 47, 60).
- BOLTE, C., & BEHRENS, J. (2004). Zur Situation des Physik/Chemie-Unterrichts im Förderschwerpunkt Lernen. In A. PITTON (Hrsg.), *Chemie- und physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung* (S. 317–319, Bd. 24). (siehe S. 6).
- BÖRLIN, J. (2012). *Das Experiment als Lerngelegenheit. Vom interkulturellen Vergleich des Physikunterrichts zu Merkmalen seiner Qualität* (Bd. 132). Logos. (siehe S. 13).
- BORTZ, J., & SCHUSTER, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). Springer. (siehe S. 123).
- BREDDERMAN, T. (1983). Effects of Activity-based Elementary Science on Student Outcomes: A Quantitative Synthesis. *Review of Educational Research*, 53(4), 499–518. (siehe S. 19).
- BRUNER, J. S. (1974). *Entwurf einer Unterrichtstheorie*. Berlin-Verl. (siehe S. 11).
- BÜHNER, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion* (3., aktualisierte und erw. Aufl). Pearson Studium. (siehe S. 120).

- BÜHNER, M., & ZIEGLER, M. (2009). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler* (1. Aufl.). Pearson. (siehe S. 75–79, 98, 122–124, 127, 128, 142, 145, 168).
- BÜHNER, M., & ZIEGLER, M. (2017). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler* (2., aktualisierte und erweiterte Auflage). Pearson. (siehe S. 75, 80).
- CAMPBELL, D. T. (1957). Factors relevant to the validity of experiments in social settings. *Psychological Bulletin*, 54(4), 297–312. (siehe S. 72).
- CERASOLI, C. P., NICKLIN, J. M., & FORD, M. T. (2014). Intrinsic motivation and extrinsic incentives jointly predict performance: A 40-year meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 140(4). (siehe S. 22).
- CHEN, J. K., & LINN, M. (2019). Impact of Choice on Students' Use of an Experimentation Model for Investigating Ideas About Thermodynamics. *CSCL 2019 Proceedings*, 708–711. (siehe S. 29).
- CHEN, J., WU, J., RAFFA, P., PICCHIONI, F., & KONING, C. E. (2022). Superabsorbent Polymers: From long-established, microplastics generating systems, to sustainable, biodegradable and future proof alternatives. *Progress in Polymer Science*, 125, 101475. (siehe S. 38).
- COHEN, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. Aufl.). L. Erlbaum Associates. (siehe S. 113, 126, 128, 131, 146).
- CSIKSZENTMIHALYI, M. (2019). *Das flow-Erlebnis: jenseits von Angst und Langeweile: im Tun aufgehen* (H. AEBLI, Hrsg.; U. AESCHBACHER, Übers.; Zwölfte Auflage). Klett-Cotta. (siehe S. 23).
- d'AILLY, H. (2004). The Role of Choice in Children's Learning: A Distinctive Cultural and Gender Difference in Efficacy, Interest, and Effort. *Canadian Journal of Behavioural Science / Revue canadienne des sciences du comportement*, 36(1), 17–29. (siehe S. 28, 30).
- DE CHARMS, R. (1983). *Personal Causation* (1. Aufl.). Routledge. (siehe S. 24).
- DECI, E. L. (1992). The relation of interest to the motivation of behavior: A self-determination theory perspective. In K. A. RENNINGER, S. HIDI & A. KRAPP (Hrsg.), *The role of interest in learning and development* (S. 43–70). Lawrence Erlbaum Associates, Inc. (siehe S. 24, 25).
- DECI, E. L., & RYAN, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223–238. (siehe S. 67).

-
- DECI, E. L., & RYAN, R. M. (2002a). *Handbook of self-determination research*. University of Rochester Press. (siehe S. 24).
- DECI, E. L., & RYAN, R. M. (1985). *Intrinsic Motivation and Self-Determination in Human Behavior*. Springer. (siehe S. 22–24, 32, 43, 89, 147).
- DECI, E. L., & RYAN, R. M. (2003). *Intrinsic Motivation Inventory*. Zugriff 2. März 2024 unter <https://selfdeterminationtheory.org/intrinsic-motivation-inventory/> (siehe S. 30, 33, 69, 88–90, 107, 162).
- DECI, E. L., & RYAN, R. M. (2002b). Overview of self-determination theory: An organismic-dialectical perspective. In E. L. DECI & R. M. RYAN (Hrsg.), *Handbook of self-determination research* (S. 3–33). University of Rochester Press. (siehe S. 23, 24, 32).
- DECI, E. L., & RYAN, R. M. (2000). The What and Why of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227–268. (siehe S. 28).
- DEMTRÖDER, W. (2021). *Experimentalphysik 1: Mechanik und Wärme*. Springer. (siehe S. 36).
- DEMTRÖDER, W. (2017). *Experimentalphysik 2. Elektrizität und Optik* (7. Aufl.). Springer. (siehe S. 36, 37, 39).
- DENISSEN, J. J. A., ZARRETT, N. R., & ECCLES, J. S. (2007). I Like to Do It, I'm Able, and I Know I Am: Longitudinal Couplings Between Domain-Specific Achievement, Self-Concept, and Interest. *Child Development*, 78(2), 430–447. (siehe S. 26).
- DESCH, I., STILLER, C., & WILDE, M. (2015). Förderung des situationsspezifischen Interesses durch eine Schülerwahl des Unterrichtsthemas. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 63(1), 60. (siehe S. 29).
- DI FUCCIA, D.-S. (2007). *Schülerexperimente als Instrument der Leistungsbeurteilung*. (siehe S. 13).
- DOPATKA, L., SPATZ, V., BURDE, J.-P., WILHELM, T., IVANJEK, L., HOPF, M., SCHUBATZKY, T., & HAAGEN-SCHÜTZENHÖFER, C. (2021). Kontextorientierte Leitfragen im Elektrizitätsunterricht. Entwicklung von Leitfragen entlang der Interessen von Lernenden. *Unterricht Physik*, (182), 19–22. (siehe S. 42).
- DÖRING, N. (2023). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Springer. (siehe S. 76, 78, 79, 92, 121).

- DÖRING, N., & BORTZ, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. vollständig überarbeitete, aktualisierte und erweiterte Auflage). Springer. (siehe S. 64, 65, 70–72, 75, 76, 78–80, 90, 98, 119–122, 125–128, 137, 146, 167, 168).
- DORSCH, F., & WIRTZ, M. A. (Hrsg.). (2020). *Dorsch - Lexikon der Psychologie* (19., überarbeitete Auflage). Hogrefe. (siehe S. 8, 125, 127, 169).
- EDER-GREGOR, B., & SPETA, E.-M. (2018). *Die Geschichte der inklusiven Bildung. Paradigmatische Umbrüche ab den 1970er Jahren*. <https://erwachsenenbildung.at>. Zugriff 1. Nov. 2023 unter <https://erwachsenenbildung.at/themen/barrierefreie-eb/geschichte-der-inklusion-bildung/umbrueche.php> (siehe S. 6).
- ENNEMOSER, M., & BESCA, M. (2021). Präventive Mehrebenenförderung. *PÄDAGOGIK*, (4), 44–47. (siehe S. 172).
- ERB, R. (2014). Experimente im naturwissenschaftlichen Unterricht: Immer noch aktuell? *MNU*, 67(7), 387. (siehe S. 1).
- ERB, R. (2016). *Optik mit GeoGebra*. De Gruyter. (siehe S. 36).
- ERB, R., & TEICHREW, A. (2020). Geometrische Optik mit GeoGebra. *NiU Physik*, 31(175), 24–28. (siehe S. 50).
- ESSER, S., & AUSTERMANN, J. (2021). Sachlogische Differenzierung des Gemeinsamen Lerngegenstandes im inklusiven zieldifferenten naturwissenschaftlichen Fachunterricht der Sek. I – Lernstrukturgitter und das „Wember-Modell“ als Planungshilfen nutzen. *Sonderpädagogische Förderung heute Beiheft*, (1), 62–82. (siehe S. 11).
- FAUL, F., ERDFELDER, E., LANG, A.-G., & BUCHNER, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191. (siehe S. 76).
- FERREIRA GONZALES, L., FÜHNER, L., SÜHRIG, L., WECK, H., WEIRAUCH, K., & ABELS, S. (2021). Ein Unterstützungsraster zur Planung und Reflexion inklusiven naturwissenschaftlichen Unterrichts. In S. HUNDEDTMARK, X. SUN, R. SCHILDKNECHT, V. SEREMET, S. ABELS, C. LINDMEIER & A. NEHRING (Hrsg.), *Sonderpädagogische Förderung heute* (Bd. 4). Beltz Juventa. (siehe S. 9, 42).
- FEUSER, G. (2019). Entwicklungslogische Didaktik. (siehe S. 11).

-
- FIELD, A. (2013). *Discovering statistics using SPSS: (and sex and drugs and rock n' roll)* (4. Aufl.). Sage Publications. (siehe S. 80, 170).
- FINKELSTEIN, N. D., ADAMS, W. K., KELLER, C. J., KOHL, P. B., PERKINS, K. K., PODOLEFSKY, N. S., REID, S., & LEMASTER, R. (2005). When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 1(010103). (siehe S. 50).
- FISSENI, H.-J. (1990). *Lehrbuch der psychologischen Diagnostik*. Hogrefe. (siehe S. 121).
- FLOWERDAY, T., & SCHRAW, G. (2003). Effect of Choice on Cognitive and Affective Engagement. *The Journal of Educational Research*, 96(4), 207–215. (siehe S. 28, 159).
- FLOWERDAY, T., & SCHRAW, G. (2000). Teacher beliefs about instructional choice: A phenomenological study. *Journal of Educational Psychology*, 92(4), 634–645. (siehe S. 2).
- FLOWERDAY, T., SCHRAW, G., & STEVENS, J. (2004). The Role of Choice and Interest in Reader Engagement. *The Journal of Experimental Education*, 72(2), 93–114. (siehe S. 28).
- FLOWERDAY, T., & SHELL, D. F. (2015). Disentangling the effects of interest and choice on learning, engagement, and attitude. *Learning and Individual Differences*, 40, 134–140. (siehe S. 28).
- FLUNGER, B., MAYER, A., & UMBACH, N. (2019). Beneficial for some or for everyone? Exploring the effects of an autonomy-supportive intervention in the real-life classroom. *Journal of Educational Psychology*, 111(2), 210–234. (siehe S. 30–33, 68, 69).
- FREEMAN, S., EDDY, S. L., MCDONOUGH, M., SMITH, M. K., OKOROAFOR, N., JORDT, H., & WENDEROTH, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415. (siehe S. 52).
- FRIEGE, G. (2019). Experimentieren ohne Präparate. Analogieexperimente und ihre mediale Darstellung. *Unterricht Physik*, (171/172), 81–84. (siehe S. 44).

- FRIESEN, M. E., LEUDERS, T., & LOIBL, K. (2021). Flexibles Gruppieren nach lernzielrelevanten Voraussetzungen. *PÄDAGOGIK*, (3), 42–45. (siehe S. 2, 172).
- FRUBÖSE, C. (2010). Der ungeliebte Physikunterricht: Ein Blick in die Fachliteratur und einige Anmerkungen aus der Praxis. *MNU*, 63(7), 388–392. (siehe S. 21).
- FÜHNER, L., & PUSCH, A. (2022). Visualisieren - ein Muss für heterogene Lerngruppen. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 33(188), 22–25. (siehe S. 2).
- FÜHNER, L., & PUSCH, A. (2019). Was macht ein Arbeitsblatt inklusionsspezifisch? Tipps und Hinweise zur Überarbeitung von Arbeitsblättern. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, (170), 40–43. (siehe S. 61).
- GIANCOLI, D. C. (2006). *Physik* (3., aktualisierte Aufl.). Pearson Studium. (siehe S. 35, 36).
- GIRWIDZ, R. (2020). Experimente im Physikunterricht. In E. KIRCHER, R. GIRWIDZ & H. E. FISCHER (Hrsg.), *Physikdidaktik Grundlagen* (S. 263–291). Springer. (siehe S. 1, 13–16, 43, 44, 48, 50).
- GLATZ, L., ERB, R., & TEICHREW, A. (2021a). Interaktive Experimentiervideos zum Teilchenmodell. In S. HABIG (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?* (Bd. 41). (siehe S. 54).
- GLATZ, L. C., ERB, R., & TEICHREW, A. (2021b). Studierende erstellen interaktive Experimentiervideos. In M. KUBSCH, S. SORGE, J. ARNOLD & N. GRAULICH (Hrsg.), *Lehrkräftebildung neu gedacht: Ein Praxishandbuch für die Lehre in den Naturwissenschaften und deren Didaktiken* (S. 223–227). Waxmann. (siehe S. 54, 55).
- GNAMBS, T., & HANFSTINGL, B. (2016). The decline of academic motivation during adolescence: An accelerated longitudinal cohort analysis on the effect of psychological need satisfaction. *Educational Psychology*, 36(9), 1691–1705. (siehe S. 20).
- GOEHRKE, R. (1979). *Eine Untersuchung über Motivationsvariablen im Physikunterricht bei Gesamtschülern der 7. und 8. Klassenstufe* [unveröffentlichte Diplomarbeit]. Universität Gießen, Fachbereich Psychologie. (siehe S. 88).

-
- GOTTFRIED, A. E. (1985). Academic intrinsic motivation in elementary and junior high school students. *Journal of Educational Psychology*, 77(6), 631–645. (siehe S. 89).
- GRÄSEL, C., DECRISTAN, J., & KÖNIG, J. (2017). Adaptiver Umgang mit Heterogenität im Unterricht. *Unterrichtswissenschaft*, (04). (siehe S. 172).
- GROLNICK, W. S., & RYAN, R. M. (1987). Autonomy in children's learning: An experimental and individual difference investigation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 52(5), 890–898. (siehe S. 29).
- GROSCHKE, M., & VOCK, M. (2018). Inklusion. In D. H. ROST, J. R. SPARFELDT & S. BUCH (Hrsg.), *Handwörterbuch pädagogische Psychologie* (5., überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 260–268). Beltz. (siehe S. 5–7).
- GRUBER, H., & STAMOULI, E. (2020). Intelligenz und Vorwissen. In E. WILD & J. MÖLLER (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 25–44). Springer. (siehe S. 90).
- GÜTH, F., & VAN VORST, H. (2024). To choose or not to choose? Effects of choice in authentic context-based learning environments. *European Journal of Psychology of Education*. (siehe S. 43, 172).
- HAAGEN-SCHÜTZENHÖFER, C., & WILHELM, T. (2021). Unterrichtskonzeptionen zur Geometrischen Optik. In T. WILHELM, H. SCHECKER & M. HOPF (Hrsg.), *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht* (S. 17–49). Springer. (siehe S. 35).
- HACKING, I. (1983). *Representing and intervening: introductory topics in the philosophy of natural science*. Cambridge University Press. (siehe S. 14, 19).
- HAEBERLIN, U., MOSER, U., BLESS, G., & KLAGHOFER, R. (1989). *Integration in die Schulklasse: Fragebogen zur Erfassung von Dimensionen der Integration von Schülern FDI 4-6*. P. Haupt. (siehe S. 92).
- HANSFORD, B. C., & HATTIE, J. A. (1982). The Relationship Between Self and Achievement/Performance Measures. *Review of Educational Research*, 52(1), 123–142. (siehe S. 26, 33).
- HARTINGER, A. (2008). Anspruchsvolles Lernen durch Interessenförderung. In M. GÖTZ & J. JUNG (Hrsg.), *Anspruchsvolles Lernen in der Grundschule*. LIT. (siehe S. 28).

- HARTINGER, A. (2006). Interesse durch Öffnung des Unterrichts - wodurch? *Unterrichtswissenschaft*, 34(3), 272–28. (siehe S. 29).
- HATTIE, J. (2010). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement* (Reprinted). Routledge. (siehe S. 29, 32, 54).
- HAYWOOD, H. C. (1968). Motivational orientation of overachieving and underachieving elementary school children. *American Journal of Mental Deficiency*, 72(5), 662–667. (siehe S. 22).
- HELLER, K., & PERLETH, C. (2000). *KFT 4-12+ R. Kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klassen, Revision*. Beltz. (siehe S. 81, 90).
- HESSISCHES KULTUSMINISTERIUM. (2016a). Lehrplan Physik: Bildungsgang Realschule. Jahrgangsstufen 5 bis 10. (siehe S. 144).
- HESSISCHES KULTUSMINISTERIUM. (2016b). Lehrplan Physik: Gymnasialer Bildungsgang. Jahrgangsstufen 7 bis 13. (siehe S. 144).
- HIDI, S. (2000). An interest researcher's perspective: The effects of extrinsic and intrinsic factors on motivation. In C. SANSONE & J. M. HARACKIEWICZ (Hrsg.), *Intrinsic and extrinsic motivation* (S. 309–339). Academic Press. (siehe S. 24).
- HIDI, S., & HARACKIEWICZ, J. M. (2000). Motivating the Academically Unmotivated: A Critical Issue for the 21st Century. *Review of Educational Research*, 70(2), 151–179. (siehe S. 24).
- HODSON, D. (2014). Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534–2553. (siehe S. 9).
- HODSON, D. (1993). Re-thinking Old Ways: Towards A More Critical Approach To Practical Work In School Science. *Studies in Science Education*, 22(1), 85–142. (siehe S. 16).
- HOFFERBER, N., & WILDE, M. (2018). Motivationsförderung durch autonomieunterstützendes Lehrerverhalten. *MNU*, 71(5), 324–330. (siehe S. 2).
- HOFFMANN, L., HÄUSSLER, P., & LEHRKE, M. (1998). *Die IPN-Interessenstudie Physik*. IPN. (siehe S. 88, 96).
- HOFFMANN, T., & MENTHE, J. (2016). Inklusiver Chemieunterricht: Ausgewählte Konzepte und Praxisbeispiele aus Sonderpädagogik und Fachdidaktik. In J. MENTHE, D. HÖTTECKE, T. ZABKA, M. HAMMANN & M. ROTHGANGEL (Hrsg.), *Befähigung zu gesellschaftlicher Teilhabe*.

-
- Beiträge der fachdidaktischen Forschung* (S. 351–360). Waxmann. (siehe S. 11, 12).
- HOFFMANN, T., & MENTHE, J. (2015). Inklusiver Chemieunterricht: Chance und Herausforderung. In J. RIEGERT & O. MUSENBERG (Hrsg.), *Inklusiver Fachunterricht in der Sekundarstufe* (1. Auflage, S. 131–141). W. Kohlhammer. (siehe S. 13, 43).
- HOFSTEIN, A., & LUNETTA, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28–54. (siehe S. 20).
- HÖFT, L., BERNHOLT, S., BLANKENBURG, J. S., & WINBERG, M. (2019). Knowing more about things you care less about: Cross-sectional analysis of the opposing trend and interplay between conceptual understanding and interest in secondary school chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 56(2), 184–210. (siehe S. 43).
- HØGHEIM, S., & REBER, R. (2017). Eliciting Mathematics Interest: New Directions for Context Personalization and Example Choice. *The Journal of Experimental Education*, 85(4), 597–613. (siehe S. 29).
- HORZ, H. (2020). Medien. In E. WILD & J. MÖLLER (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 133–159). Springer. (siehe S. 61).
- HORZ, H., & SCHNOTZ, W. (2010). Cognitive Load in Learning with Multiple Representations. In J. L. PLASS, R. BRÜNKEN & R. MORENO (Hrsg.), *Cognitive Load Theory* (S. 229–252). Cambridge University Press. (siehe S. 61).
- HOX, J. J. (2010). *Multilevel analysis: Techniques and applications* (2. ed). Routledge, Taylor & Francis. (siehe S. 169, 170).
- IYENGAR, S. S., & LEPPER, M. R. (1999). Rethinking the value of choice: A cultural perspective on intrinsic motivation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76(3), 349–366. (siehe S. 28).
- IYENGAR, S. S., & LEPPER, M. R. (2000). When choice is demotivating: Can one desire too much of a good thing? *Journal of Personality and Social Psychology*, 79(6), 995–1006. (siehe S. 32).
- JOST, M. (2017). *Wahlmöglichkeiten geben: Heterogenität*. Bildungsserver Rheinland-Pfalz. Zugriff 22. Jan. 2024 unter [https : / / heterogenitaet . bildung - rp . de / materialien /](https://heterogenitaet.bildung-rp.de/materialien/)

- differenzieren / wahlmoeglichkeiten - geben . html (siehe S. 2).
- KARABÖCEK, F., & ERB, R. (2015). Funktionale Aspekte des Experiments: Die Sicht der Lehrkraft. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung (Nachtrag Frankfurt 2014)*. (siehe S. 16).
- KATZ, I., & ASSOR, A. (2007). When Choice Motivates and When It Does Not. *Educational Psychology Review*, 19(4), 429–442. (siehe S. 27, 31, 32).
- KEMPA, R. F., & DIAZ, M. M. (1990). Students' motivational traits and preferences for different instructional modes in science education-Part 2. *International Journal of Science Education*, 12(2), 205–216. (siehe S. 29).
- KERR, J. F. (1963). *Practical Work in School Science: an Account of an Inquiry*. (siehe S. 17, 18).
- KIRCHER, E., & GIRWIDZ, R. (2020). Methoden im Physikunterricht. In E. KIRCHER, R. GIRWIDZ & H. E. FISCHER (Hrsg.), *Physikdidaktik Grundlagen* (S. 205–261). Springer. (siehe S. 48).
- KIRSCHNER, P. A., SWELLER, J., & CLARK, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86. (siehe S. 160).
- KLAUTKE, F., & THEYSSEN, H. (2021). Gemeinsames Lernen im Physikunterricht. Gestaltung eines differenzierenden Lernangebotes zu Stromkreisen. *MNU*, 74(4), 286–294. (siehe S. 17, 42).
- KLINE, R. B. (2016). *Principles and practice of structural equation modeling* (Fourth edition). The Guilford Press. (siehe S. 120).
- KMK. (2005). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10) - Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004*. Luchterhand in Wolters Kluwer Deutschland. (siehe S. 13).
- KMK. (2020). *Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020* (STÄNDIGE KONFERENZ DER KULTUSMINISTER DER LÄNDER IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND & INSTITUT ZUR QUALITÄTSENT-

-
- WICKLUNG IM BILDUNGSWESEN, Hrsg.; 1. Auflage). Carl Link Verlag. (siehe S. 1).
- KOHN, W., & ÖZTÜRK, R. (2022). Grafische Darstellung von zwei metrischen Merkmalen. In *Statistik für Ökonomen* (S. 109–120). Springer. (siehe S. 123).
- KÖLLER, O., & MÖLLER, J. (2010). Selbstwirksamkeit. In D. H. ROST (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (4., überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 767–773). Beltz. (siehe S. 26, 27, 33).
- KÖRNER, H.-D., & IHRINGER, S. (2016). Selbstwirksamkeit beim Experimentieren – Mädchen und Jungen in den Naturwissenschaften. In C. WIEPCKE & M. KAMPSHOFF (Hrsg.), *Vielfalt geschlechtergerechten Unterrichts: Ideen und konkrete Umsetzungsbeispiele für die Sekundarstufen* (1. Aufl., S. 106–140). epubli. (siehe S. 27, 28, 33, 88, 96).
- KRÜGER, D., & MEYFARTH, S. (2009). "Binnen - kurzer Zeit - differenzieren!" *Unterricht Biologie*, 33(347/348), 2–10. (siehe S. 44, 61).
- KRÜGER, D., PARCHMANN, I., & SCHECKER, H. (Hrsg.). (2014). *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Springer. (siehe S. 120).
- KUHN, J., MÜLLER, A., MÜLLER, W., & VOGT, P. (2010). Kontextorientierung im Physikunterricht - Konzeptionen, Theorien und Forschung zu Motivation und Lernen. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 59(5), 13–25. (siehe S. 42).
- KÜPPER, P. (2020). Was sind eigentlich ländliche Räume? In BUNDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG (Hrsg.), *Ländliche Räume* (S. 4–7, Bd. izpb 343). (siehe S. 82).
- KUTZER, R. (1982). Anmerkungen zum Struktur- und Niveauorientierten Unterricht. In H. PROBST (Hrsg.), *Kritische Behinderten-Pädagogik in Theorie und Praxis. Beiträge zum gleichnamigen Studentenkongress der Fachgruppe Sonderpädagogik in Marburg 1978* (S. 29–62). Jarick Oberbiel. (siehe S. 11).
- KUTZER, R. (1995). *Mathematik entdecken und verstehen* (Bd. 1). Diesterweg. (siehe S. 12).
- LAUBMEISTER, C., & WECK, H. (2022). Assistive Technologien im Unterricht. *Fachunterricht inklusiv – Zeitschrift für inklusive Unterrichtskonzepte und deren Evaluation*, Bd. 1 Nr. 1 (2022). (siehe S. 7).

- LEPPER, M. R., CORPUS, J. H., & IYENGAR, S. S. (2005). Intrinsic and Extrinsic Motivational Orientations in the Classroom: Age Differences and Academic Correlates. *Journal of Educational Psychology*, 97(2), 184–196. (siehe S. 22).
- LIMBACH-REICH, A. (2021). Response to Intervention (RTI) im Spannungsfeld inklusiver Diagnostik. In H. SCHÄFER & C. RITTMAYER (Hrsg.), *Handbuch inklusive Diagnostik. Kompetenzen feststellen - Entwicklungsbedarfe identifizieren - Förderplanung umsetzen* (2. Auflage, S. 578–599). Beltz. (siehe S. 172).
- LIPOWSKY, F. (2020). Unterricht. In E. WILD & J. MÖLLER (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 69–118). Springer. (siehe S. 30).
- LITTLE, T. D., LINDENBERGER, U., & NESSELROADE, J. R. (1999). On selecting indicators for multivariate measurement and modeling with latent variables: When good indicators are bad and bad indicators are good. *Psychological Methods*, 4(2), 192–211. (siehe S. 120).
- LOIBL, K., & LEUDERS, T. (2021). Strategien der Binnendifferenzierung. *PÄDAGOGIK*, (1), 39–45. (siehe S. 11).
- LUNETTA, V. N., HOFSTEIN, A., & CLOUGH, M. P. (2007). Learning and Teaching in the School Science Laboratory: An Analysis of Research, Theory, and Practice. In S. K. ABELL & N. G. LEDERMAN (Hrsg.), *Handbook of research on science education*. Lawrence Erlbaum Associates. (siehe S. 13, 14, 16, 20).
- MAYER, J., & ZIEMEK, H.-P. (2006). Offenes Experimentieren. Forschendes Lernen im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie*, 30(317), 4–12. (siehe S. 49).
- MAYER, R. E. (2014). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. E. MAYER (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. Aufl., S. 43–71). Cambridge University Press. (siehe S. 52).
- MAYER, R. E., & FIORELLA, L. (2014). Principles for Reducing Extraneous Processing in Multimedia Learning: Coherence, Signaling, Redundancy, Spatial Contiguity, and Temporal Contiguity Principles. In R. E. MAYER (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. Aufl., S. 279–315). Cambridge University Press. (siehe S. 61).
- MAYR, K. (2021). Bildungsprozesse in heterogenen Lerngruppen gestalten. *PÄDAGOGIK*, (7-8), 26–29. (siehe S. 44).

-
- MCPHAIL, J. C., PIERSON, J. M., FREEMAN, J. G., GOODMAN, J., & AYAPPA, A. (2000). The Role of Interest in Fostering Sixth Grade Students' Identities As Competent Learners. *Curriculum Inquiry*, 30(1), 43–70. (siehe S. 29).
- MEIER, M., KASTAUN, M., & STINKEN-RÖSNER, L. (2022). Experimentiervideos im naturwissenschaftlichen Unterricht – Lehren und Lernen mit und durch VidEX. In E. M. WATTS & C. HOFFMANN (Hrsg.), *Digitale NAWIgation von Inklusion* (S. 51–65). Springer Fachmedien Wiesbaden. (siehe S. 56).
- MENTHE, J., ABELS, S., BLUMBERG, E., FROMME, T., MAROHN, A., NEHRING, A., & ROTT, L. (2017). Netzwerk inklusiver naturwissenschaftlicher Unterricht. In C. MAURER (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis* (S. 800–803, Bd. 37). (siehe S. 1).
- MEYER, A., ROSE, D. H., & GORDON, D. (2014). *Universal design for learning: Theory and practice*. CAST Professional Publishing, an imprint of CAST, Inc. (siehe S. 8).
- MEYER, A., MEYER-AHRENS, I., & WILDE, M. (2019). The Beneficial Effects of Non-received Choice: A Study on Intrinsic Motivation in Biology Education. *European Journal of Educational Research*, 2(4), 185–190. (siehe S. 32).
- MEYER-AHRENS, I., MOSHAGE, M., SCHÄFFER, J., & WILDE, M. (2010). Nützliche Elemente von Schülermitbestimmung im Biologieunterricht für die Verbesserung intrinsischer Motivation. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 155–166. (siehe S. 29).
- MEYER-AHRENS, I., & WILDE, M. (2013). Der Einfluss von Schülerwahl und der Interessantheit des Unterrichtsgegenstandes auf die Lernmotivation im Biologieunterricht. *Unterrichtswissenschaft*, 41(1), 57–71. (siehe S. 31).
- MICHEL, C. (2019). *Wasserperlen unsichtbar machen - Kinder-Experiment*. Entdeckerlab. [https : / / www . entdeckerlab . de / blog / wasserperlen-unsichtbar/](https://www.entdeckerlab.de/blog/wasserperlen-unsichtbar/) (siehe S. 38).
- MILLAR, R. (2004). The role of practical work in the teaching and learning of science. *High School Science Laboratories: Role and Vision*. (siehe S. 14–16, 47, 48).

- MILLAR, R. (2010). Practical work. In J. OSBORNE & J. DILLON (Hrsg.), *Good practice in science teaching: What research has to say* (S. 108–134). Open University Press. (siehe S. 12–15, 17–19, 29, 42, 50).
- MILLAR, R., LE MARÉCHAL, J.-F., & TIBERGHIE, A. (1999). Mapping the domain - varieties of practical work. In J. LEACH & A. PAULSEN (Hrsg.), *Practical work in science education* (S. 33–59). University of Roskilde Press. (siehe S. 13).
- MILLAR, R., TIBERGHIE, A., & MARÉCHAL, J.-F. (2003). Varieties of Labwork: A Way of Profiling Labwork Tasks. In D. PSILLOS & H. NIEDDERER (Hrsg.), *Teaching and Learning in the Science Laboratory* (S. 9–20, Bd. 16). Kluwer Academic Publishers. (siehe S. 16).
- MÖLLER, J., & TRAUTWEIN, U. (2020). Selbstkonzept. In E. WILD & J. MÖLLER (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 187–209). Springer. (siehe S. 2, 25–27, 88).
- MOSCHNER, B., & DICKHÄUSER, O. (2010). Selbstkonzept. In D. H. ROST (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (4., überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 760–766). Beltz. (siehe S. 25, 26, 88).
- MUTH, L. (2018). *Einfluss der Auswertephase von Experimenten im Physikunterricht: Ergebnisse einer Interventionsstudie zum Zuwachs von Fachwissen und experimenteller Kompetenz von Schülerinnen und Schülern* (Bd. 252). Logos. (siehe S. 14).
- NAWRATH, D., MAISEYENKA, V., & SCHECKER, H. (2011). Experimentelle Kompetenz - Ein Modell für die Unterrichtspraxis. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 60(6), 42–49. (siehe S. 14).
- NEHRING, A., & WALKOWIAK, M. (2017). Eine inklusive Lernumgebung ist nicht genug: Fachspezifik, Theoretisierung und inklusive Unterrichtsentwicklung in den Naturwissenschaftsdidaktiken. *Zeitschrift für Inklusion*, 3. (siehe S. 13).
- NELSON, L. L. (2014). *Design and Deliver: Planning and teaching using universal design for learning*. Paul H. Brookes Publishing. (siehe S. 7).
- NIEMIEC, C. P., & RYAN, R. M. (2009). Autonomy, competence, and relatedness in the classroom: Applying self-determination theory to educational practice. *Theory and Research in Education*, 7(2), 133–144. (siehe S. 27, 32).

-
- NOLTING, W. (2011). *Grundkurs Theoretische Physik 3: Elektrodynamik*. Springer. (siehe S. 39).
- NOVAK, K. (2016). *UDL now! a teacher's guide to applying universal design for learning in today's classrooms* (Revised & expanded edition). Cast Professional Publishing. (siehe S. 30, 69).
- PARK, E. (2020). The comparison between repeated measures ANOVA and multilevel modeling to investigate the effectiveness of language instruction. *Advances in Social Sciences Research Journal*, 7(6), 426–437. (siehe S. 170).
- PATALL, E. A., COOPER, H., & ROBINSON, J. C. (2008). The effects of choice on intrinsic motivation and related outcomes: A meta-analysis of research findings. *Psychological Bulletin*, 134(2), 270–300. (siehe S. 27, 28, 31, 32, 66, 159, 160, 164).
- PATALL, E. A., COOPER, H., & WYNN, S. R. (2010). The effectiveness and relative importance of choice in the classroom. *Journal of Educational Psychology*, 102(4), 896–915. (siehe S. 28, 31, 32, 68).
- PATALL, E. A., SYLVESTER, B. J., & HAN, C.-W. (2014). The role of competence in the effects of choice on motivation. *Journal of Experimental Social Psychology*, 50, 27–44. (siehe S. 32).
- PAWLAK, F., & GROSS, K. (2020). Einsatz von Schülerexperimenten im inklusiven Chemieunterricht – Chancen und Herausforderungen aus Sicht der Chemielehrenden. *CHEMKON*, 96–102. (siehe S. 13).
- PEDROTTI, F. L. (Hrsg.). (2005). *Optik für Ingenieure: Grundlagen ; mit 28 Tabellen* (3., bearb. und aktualisierte Aufl.). Springer. (siehe S. 36, 37, 39).
- PIEZUNKA, A., SCHAFFUS, T., & GROSCHE, M. (2017). Vier Definitionen von schulischer Inklusion und ihr konsensueller Kern. Ergebnisse von Experteninterviews mit Inklusionsforschenden. *Unterrichtswissenschaft*, 45(4), 207–222. (siehe S. 7).
- PRENZEL, M., KRAPP, A., & SCHIEFELE, H. (2019). Grundzüge einer pädagogischen Interessentheorie. (siehe S. 23).
- PRICE, J. F., JOHNSON, M., & BARNETT, M. (2012). Universal Design for Learning in the Science Classroom. In T. E. HALL, A. MEYER & D. H. ROSE (Hrsg.), *Universal design for learning in the classroom: practical applications* (S. 55–70). Guilford Press. (siehe S. 170).

- PRIEMER, B. (2011). Was ist das Offene beim Experimentieren? *ZfDN*, 17, 315–337. (siehe S. 48, 49).
- RASCH, B. (2021). Materialien zu Kapitel 7: Varianzanalyse mit Messwiederholung. SPSS-Ergänzungen. In M. FRIESE, W. HOFMANN & E. NAUMANN (Hrsg.), *Quantitative Methoden: Einführung in die Statistik für Psychologie, Sozial- und Erziehungswissenschaften*. 2 (5. Auflage). Springer. (siehe S. 124).
- RASCH, B., FRIESE, M., HOFMANN, W., & NAUMANN, E. (2014a). Einfaktorielle Varianzanalyse. In *Quantitative Methoden 2* (S. 1–34). Springer. (siehe S. 75, 78).
- RASCH, B., FRIESE, M., HOFMANN, W., & NAUMANN, E. (2021). *Quantitative Methoden 1: Einführung in die Statistik für Psychologie, Sozial- & Erziehungswissenschaften*. Springer Berlin Heidelberg. (siehe S. 65, 75, 77).
- RASCH, B., FRIESE, M., HOFMANN, W., & NAUMANN, E. (2014b). *Quantitative Methoden 2. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler* (4. Aufl.). Springer. (siehe S. 75, 128).
- RASCH, B., FRIESE, M., HOFMANN, W., & NAUMANN, E. (2014c). Varianzanalyse mit Messwiederholung. In *Quantitative Methoden 2* (S. 65–91). Springer. (siehe S. 79).
- RASCH, B., FRIESE, M., HOFMANN, W., & NAUMANN, E. (2014d). Zweifaktorielle Varianzanalyse. In *Quantitative Methoden 2* (S. 35–63). Springer. (siehe S. 79).
- RASCHKE, B. (2006). *Physikalische Freihandexperimente zur Mechanik* [Diplomarbeit]. Karl-Franzens-Universität. (siehe S. 48).
- REBER, R., HETLAND, H., CHEN, W., NORMAN, E., & KOBELTVEDT, T. (2009). Effects of Example Choice on Interest, Control, and Learning. *Journal of the Learning Sciences*, 18(4), 509–548. (siehe S. 30).
- REED, A. E., MIKELS, J. A., & LÖCKENHOFF, C. E. (2012). Choosing with confidence: Self-efficacy and preferences for choice. *Judgment and Decision Making*, 7(2), 173–180. (siehe S. 32).
- REICH, K. (2014). Herausforderungen an eine inklusive Didaktik. 5(10). (siehe S. 11).
- RENNINGER, K. (1998). The Roles Of Individual Interest(s) And Gender In Learning: An Overview Of Research On Preschool And Elementary

-
- School-Aged Children/Students. In L. HOFFMANN, A. KRAPP, K. RENNINGER & J. BAUMERT (Hrsg.), *Interest And Learning: Proceedings Of The Seeon Conference On Interest And Gender* (S. 165–174). (siehe S. 25).
- RENWICK, J. M., & MCPHERSON, G. E. (2002). Interest and choice: Student-selected repertoire and its effect on practising behaviour. *British Journal of Music Education*, 19(02). (siehe S. 29).
- RICHTBERG, S., & GIRWIDZ, R. (2019). Learning Physics with Interactive Videos – Possibilities, Perception, and Challenges. *Journal of Physics: Conference Series*, 1287(1). (siehe S. 52, 54).
- ROSSI, P. H., LIPSEY, M. W., & FREEMAN, H. E. (2004). *Evaluation: a systematic approach* (7th ed). Sage. (siehe S. 79, 127).
- ROTT, L., & MAROHN, A. (2016). Entwicklung und Erprobung einer an Schülervorstellungen orientierten Unterrichtskonzeption für den inklusiven Sachunterricht. Choice2explore. In J. MENTHE, D. HÖTTECKE, T. ZABKA, M. HAMMANN & M. ROTHGANGEL (Hrsg.), *Befähigung zu gesellschaftlicher Teilhabe Beiträge der fachdidaktischen Forschung* (S. 373–388, Bd. 10). Waxmann. (siehe S. 13).
- RYAN, R. M., & DECI, E. L. (2000). Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 54–67. (siehe S. 23, 161).
- RYAN, R. M., & DECI, E. L. (Hrsg.). (2017). *Self-Determination Theory: Basic Psychological Needs in Motivation, Development, and Wellness*. Guilford Press. (siehe S. 23).
- RYAN, R. M., & DECI, E. L. (2006). Self-Regulation and the Problem of Human Autonomy: Does Psychology Need Choice, Self-Determination, and Will? *Journal of Personality*, 74(6), 1557–1586. (siehe S. 2, 22, 32).
- SACH, M., & HEINICKE, S. (2019). Herausforderung Inklusion im Physikunterricht. Einblicke in Visionen und Realitäten. *NiU Physik*, (170), 10–16. (siehe S. 7).
- SASSE, A., & SCHULZECK, U. (2020). Die Differenzierungsmatrix - Über den gemeinsamen Lerngegenstand inklusiven Unterricht planen und gestalten. *Schule inklusiv*, (8), 37–41. (siehe S. 11).
- SASSE, A., & SCHULZECK, U. (2013). Differenzierungsmatrizen als Modell der Planung und Reflexion inklusiven Unterrichts – zum Zwischen-

- stand in einem Schulversuch. In A. JANTOWSKI (Hrsg.), *Thillm.2013: gemeinsam leben, miteinander lernen ; [Exklusion, Separation, Integration, Inklusion]* (1. Aufl, S. 13–22). THILLM. (siehe S. 11).
- SCHÄFER, T. (2016). Inferenzstatistische Aussagen für Zusammenhangs- und Unterschiedshypothesen. In *Methodenlehre und Statistik: Einführung in Datenerhebung, deskriptive Statistik und Inferenzstatistik* (S. 139–173). Springer Fachmedien. (siehe S. 127).
- SCHECKER, H. (2014). Überprüfung der Konsistenz von Itemgruppen mit Cronbachs alpha. In D. KRÜGER, I. PARCHMANN & H. SCHECKER (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Springer. (siehe S. 120).
- SCHIEFELE, U. (2009). Situational and individual interest. In K. R. WENTZEL & A. WIGFIELD (Hrsg.), *Handbook of motivation at school* (S. 197–222). Routledge. (siehe S. 21, 23–25).
- SCHIEFELE, U. (1996). Topic Interest, Text Representation, and Quality of Experience. *Contemporary Educational Psychology*, 21(1), 3–18. (siehe S. 25).
- SCHIEFELE, U., KÖLLER, O., & SCHAFFNER, E. (2018). Intrinsische und extrinsische Motivation. In D. H. ROST, J. R. SPARFELDT & S. BUCH (Hrsg.), *Handwörterbuch pädagogische Psychologie* (5., überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 309–319). Beltz. (siehe S. 21–23, 89).
- SCHIEFELE, U., & SCHAFFNER, E. (2020). Motivation. In E. WILD & J. MÖLLER (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 163–185). Springer. (siehe S. 2, 20–25, 32, 33, 43).
- SCHLÜTER, A.-K., MELLE, I., & WEMBER, F. B. (2016). Unterrichtsgestaltung in Klassen des Gemeinsamen Lernens. *Universal Design for Learning. Sonderpädagogische Förderung heute*, (3), 270–285. (siehe S. 8).
- SCHMIDT, S., STILLER, C., & WILDE, M. (2019). Hilfen beim Experimentieren. Auswirkungen unterschiedlicher Arten der Unterstützung auf den extraneous Cognitive Load. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, (18), 9–23. (siehe S. 160).
- SCHNELL, I. (2009). Wir haben damals übermorgen angefangen - sind wir schon im Heute gelandet? *Zeitschrift für Inklusion*, 1(2). (siehe S. 6).
- SCHNOTZ, W. (2019). *Pädagogische Psychologie kompakt: mit Online-Material* (3., überarbeitete und erweiterte Auflage). Beltz. (siehe S. 52).

-
- SCHOPPEK, W. (2015). Mehrebenenanalyse oder Varianzanalyse?: Ein simulationsbasierter Vergleich von Verfahren zur Auswertung pädagogisch-psychologischer Experimente. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 47(4), 199–209. (siehe S. 170).
- SCHRAW, G., FLOWERDAY, T., & LEHMAN, S. (2001). Increasing Situational Interest in the Classroom. *Educational Psychology Review*, 13(3), 211–224. (siehe S. 2).
- SCHRAW, G., FLOWERDAY, T., & REISETTER, M. F. (1998). The role of choice in reader engagement. *Journal of Educational Psychology*, 90(4), 705–714. (siehe S. 29, 159).
- SCHROEDTER, S., & KÖRNER, H.-D. (2012). Entwicklung eines Fragebogens zur Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren (SWE_EX). In S. BERNHOLT (Hrsg.), *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Oldenburg 2011* (S. 164–166). (siehe S. 27, 88).
- SCHRÖFL, C. (2021, 8. März). Chemical design and synthesis of superabsorbent polymers. In S. VAN VLIERBERGHE & A. MIGNON (Hrsg.), *Superabsorbent Polymers* (S. VII–VIII). De Gruyter. (siehe S. 38).
- SCHUCK, K. D. (2014). Individualisierung und Standardisierung in der inklusiven Schule - ein unauflösbarer Widerspruch? *Die Deutsche Schule*, 106(2), 162–174. (siehe S. 6).
- SCHUNK, D. H., PINTRICH, P. R., MEECE, J. L., & PINTRICH, P. R. (2008). *Motivation in education: theory, research, and applications* (3rd ed). Pearson/Merrill Prentice Hall. (siehe S. 89).
- SCHÜTTE, K., FRENZEL, A. C., ASSEBURG, R., & PEKRUN, R. (2007). Schülermerkmale, naturwissenschaftliche Kompetenz und Berufserwartung. In M. PRENZEL, C. ARTELT, J. BAUMERT, W. BLUM, M. HAMMANN, E. KLIEME & R. PEKRUN (Hrsg.), *PISA 2006: die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie*. Waxmann. (siehe S. 27).
- SCHWARTZ, B. (2000). Self-determination: The tyranny of freedom. *American Psychologist*, 55(1), 79–88. (siehe S. 32, 160).
- SCHWARZER, R., & JERUSALEM, M. (2002). Das Konzept der Selbstwirksamkeit. In M. JERUSALEM & D. HOPF (Hrsg.), *Selbstwirksamkeit und Motivationsprozesse in Bildungsinstitutionen* (S. 28–53, Bd. Beiheft). Beltz. (siehe S. 26, 27, 88).

- SCHWEIZER, K. (2011). Some Thoughts Concerning the Recent Shift from Measures with Many Items to Measures with Few Items. *European Journal of Psychological Assessment*, 27(2), 71–72. (siehe S. 72).
- SEIDEL, T. (Hrsg.). (2003). *Technischer Bericht zur Videostudie "Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht"*. IPN. (siehe S. 87, 96).
- SEIDEL, T., PRENZEL, M., RIMMELE, R., DALEHEFTE, I. M., HERWEG, C., KOBARG, M., & SCHWINDT, K. (2006). Blicke auf den Physikunterricht. Ergebnisse der IPN Videostudie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52. (siehe S. 20, 32, 68).
- SKINNER, E. A., & BELMONT, M. J. (1993). Motivation in the classroom: Reciprocal effects of teacher behavior and student engagement across the school year. *Journal of Educational Psychology*, 85(4), 571–581. (siehe S. 27).
- SKINNER, E. A., CHAPMAN, M., & BALTES, P. B. (1988). Control, means-ends, and agency beliefs: A new conceptualization and its measurement during childhood. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54(1), 117–133. (siehe S. 27).
- SPYCHIGER, M., KUSTER, R., & OSER, F. (2006). Dimensionen von Fehlerkultur in der Schule und deren Messung. Der Schülerfragebogen zur Fehlerkultur im Unterricht für Mittel- und Oberstufe. (siehe S. 87).
- STINKEN-RÖSNER, L. (2020). Simulations in Science Education – Status Quo. *Progress in Science Education (PriSE)*, 26–34. (siehe S. 13).
- STINKEN-RÖSNER, L., & MEIER, M. (2023). Experimentiervideos - Mehr als ein Ersatz für Realexperimente. *Plus Lucis*, 2023(3), 17–21. (siehe S. 54, 56).
- STINKEN-RÖSNER, L., ROTT, L., HUNDERTMARK, S., BAUMANN, T., MENTHE, J., HOFFMANN, T., NEHRING, A., & ABELS, S. (2020). Thinking Inclusive Science Education from two Perspectives: Inclusive Pedagogy and Science Education. Research in Subject-matter Teaching and Learning. *Ristal*. (siehe S. 9, 43).
- STINKEN-RÖSNER, L., WEIDENHILLER, P., NERDEL, C., WECK, H., KASTAUN, M., & MEIER, M. (2023). Inklusives Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht digital unterstützen. In D. FERENCIK-LEHMKUHL, I. HUYNH, C. LAUBMEISTER, C. LEE, C. MELZER, I. SCHWANK, H. WECK & K. ZIEMEN (Hrsg.), *Inklusion*

-
- digital! Chancen und Herausforderungen inklusiver Bildung im Kontext von Digitalisierung* (S. 152–167). Verlag Julius Klinkhardt. (siehe S. 10).
- STOHR-HUNT, P. M. (1996). An analysis of frequency of hands-on experience and science achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(1), 101–109. (siehe S. 19).
- STOIBER, R. E., & MORSE, S. A. (1994). The Immersion Method. In R. E. STOIBER & S. A. MORSE (Hrsg.), *Crystal Identification with the Polarizing Microscope* (S. 49–75). Springer US. (siehe S. 54).
- STOLZ, A. (2018). *Die Auswirkungen von Experimentiersituationen mit unterschiedlichem Öffnungsgrad auf Leistung und Motivation der Schülerinnen und Schüler* (Bd. 267). Logos. (siehe S. 2, 45).
- STONE, E. (2010). T Test, Paired Samples. In N. J. SALKIND (Hrsg.), *Encyclopedia of research design* (S. 1560–1565). Sage. (siehe S. 99).
- SÜHRIG, L., ERB, R., HORZ, H., TEICHREW, A., ULLRICH, M., & WINKELMANN, J. (2023a). Auswirkung von Wahlfreiheit beim Experimentieren. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. (siehe S. 5, 41, 63, 84, 119).
- SÜHRIG, L., HARTIG, K., ERB, R., HORZ, H., TEICHREW, A., ULLRICH, M., & WINKELMANN, J. (2020). Schülerexperimente im inklusiven Physikunterricht. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. (siehe S. 5, 41, 57, 84).
- SÜHRIG, L., HARTIG, K., TEICHREW, A., ULLRICH, M., WINKELMANN, J., HORZ, H., & ERB, R. (2023b). Auswirkung von Wahlfreiheit beim Experimentieren im inklusiven Physikunterricht. In H. van VORST (Hrsg.), *Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt* (S. 346–349). (siehe S. 5, 41, 57, 63, 119).
- SÜHRIG, L., HARTIG, K., TEICHREW, A., WINKELMANN, J., ERB, R., HORZ, H., & ULLRICH, M. (2021a). Experimente im inklusiven Physikunterricht: Was sagen Lehrkräfte? In S. HUNDERTMARK, X. SUN, S. ABELS, A. NEHRING, R. SCHILDKNECHT, V. SEREMET & C. LINDMEIER (Hrsg.), *Naturwissenschaftsdidaktik und Inklusion. 4. Beiheft zur Zeitschrift „Sonderpädagogische Förderung heute“* (S. 147–160). Beltz Juventa. (siehe S. 5, 18, 92).

- SÜHRIG, L., HARTIG, K., TEICHREW, A., WINKELMANN, J., ULLRICH, M., HOLGER, H., & ERB, R. (2021b). Inklusiv experimentieren? Ein Konzept für einen Physikunterricht für alle. In S. HABIG (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?* (S. 205–208). (siehe S. 5, 41, 84).
- SÜHRIG, L., TEICHREW, A., ERB, R., & WINKELMANN, J. (2021c). Practical Work for All Learners. In G. S. CARVALHO, A. S. AFONSO & Z. ANASTÁCIO (Hrsg.), *Fostering scientific citizenship in an uncertain world (Proceedings of ESERA 2021)* (S. 216–223, Bd. 3). CIEC, University of Minho. (siehe S. 5, 41, 95).
- SWAIN, J., MONK, M., & JOHNSON, S. (1999). A comparative study of attitudes to the aims of practical work in science education in Egypt, Korea and the UK. *International Journal of Science Education*, 21(12), 1311–1323. (siehe S. 13, 18).
- SWELLER, J., van MERRIENBOER, J. J. G., & PAAS, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296. (siehe S. 61).
- TABACHNICK, B. G., & FIDELL, L. S. (2007). *Using multivariate statistics* (5th ed). Pearson/Allyn & Bacon. (siehe S. 123).
- TAYLOR, G., JUNGERT, T., MAGEAU, G. A., SCHATTKKE, K., DEDIC, H., ROSENFIELD, S., & KOESTNER, R. (2014). A self-determination theory approach to predicting school achievement over time: The unique role of intrinsic motivation. *Contemporary Educational Psychology*, 39(4), 342–358. (siehe S. 22).
- TEICHREW, A. (2023). *Physikalische Modellbildung mit dynamischen Modellen* (Bd. 364). Logos. (siehe S. 50).
- TEICHREW, A., & ERB, R. (2022). Dynamisch modelliert. *Physik Journal*, 21(2), 25–28. (siehe S. 50).
- TESCH, M., & DUIT, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht - Ergebnisse einer Videostudie. *ZfDN*, 10, 51–69. (siehe S. 13).
- THOMPSON, J. J. (1975). *Practical Work in Sixthform Science: An Enquiry Into the Aims and Methods of the Teaching of Practical Work in Sixth-form Science as Perceived by Teachers of Physics, Chemistry and Biology*. Oxford University, Department of Educational Studies). (siehe S. 18).

-
- THURN, S. (2021). Inklusion: ethisches Gebot oder moralische Keule? *PÄDAGOGIK*, (7-8), 6–9. (siehe S. 44).
- TILFARLIOGLU, F. Y., & CIFTCI, F. S. (2011). Supporting Self-efficacy and Learner Autonomy in Relation to Academic Success in EFL Classrooms (A Case Study). *Theory and Practice in Language Studies*, 1(10), 1284–1294. (siehe S. 30, 33, 69).
- TIPLER, P. A. (2004). *Physik* (Neuauf.). Spektrum Akad. Verl. (siehe S. 36, 37).
- TÜRCK, V., THEYSSEN, H., & SCHREIBER, N. (2018). Experimentieren im inklusiven Physikunterricht. Gestaltung von Unterrichtsmaterial an einem Beispiel aus der Optik. *MNU*, 71(5), 311–316. (siehe S. 42).
- TZURIEL, D., & KLEIN, P. S. (1983). Learning Skills and Types of Temperaments as Discriminants between Intrinsically and Extrinsically Motivated Children. *Psychological Reports*, 53(1), 59–69. (siehe S. 22).
- URHAHNE, D. (2008). Sieben Arten der Lernmotivation: Ein Überblick über zentrale Forschungskonzepte. *Psychologische Rundschau*, 59(3), 150–166. (siehe S. 21–24, 89).
- VAN VORST, H. (2018). Zum Bohr'schen Atomkonzept mit der Lernleiter: Ein Ansatz zur Unterrichtsstrukturierung und Differenzierung. *MNU*, 71(5), 317–324. (siehe S. 1).
- van VORST, H., FECHNER, S., & SUMFLETH, E. (2013). Kontextmerkmale und ihr Einfluss auf das Schülerinteresse im Fach Chemie. In S. BERNHOLT (Hrsg.), *Inquiry-based Learning – Forschendes Lernen* (S. 311–313). IPN. (siehe S. 42).
- VENETZ, M., ZURBRIGGEN, C., & ECKHART, M. (2014). Entwicklung und erste Validierung einer Kurzversion des Fragebogens zur Erfassung von Dimensionen der Integration von Schülern (FDI 4-6) von Haeberlin, Moser, Bless und Klaghofer. *Empirische Sonderpädagogik*, 6(2), 99–113. (siehe S. 92, 96).
- VERMA, J. P. (2015). *Repeated measures design for empirical researchers*. John Wiley & Sons, Inc. (siehe S. 124).
- WATSON, R., PRIETO, T., & DILLON, J. S. (1995). The effect of practical work on students' understanding of combustion. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5), 487–502. (siehe S. 19).

- WATZKA, B., RICHTBERG, S., SCHWEINBERGER, M., & GIRWIDZ, R. (2019). Interaktiv üben mit H5P-Aufgaben. *NiU Physik*, (173), 22–27. (siehe S. 54).
- WEBER, J., WINKELMANN, J., ERB, R., WENZEL, F., ULLRICH, M., & HORZ, H. (2017). Ein Fachwissenstest zur geometrischen Optik. In C. MAURER (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis* (S. 107). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016. (siehe S. 86, 96).
- WEISE, G. (1975). *Psychologische Leistungstests: ein Handbuch für Studium und Praxis*. Verlag für Psychologie Hogrefe. (siehe S. 121).
- WELLINGTON, J. (2005). Practical work in the affective domain. In S. AL-SOP (Hrsg.), *Beyond Cartesian Dualism: Encountering Affect in the Teaching and Learning of Science*. (S. 99–110). Springer Science & Business Media. (siehe S. 18).
- WHITE, R., & GUNSTONE, R. (2014, 23. Apr.). *Probing Understanding* (1. Aufl.). Routledge. (siehe S. 47).
- WHITE, R. W. (1959). Motivation reconsidered: The concept of competence. *Psychological Review*, 66(5), 297–333. (siehe S. 23).
- WIJNIA, L., LOYENS, S. M., & DEROUX, E. (2011). Investigating effects of problem-based versus lecture-based learning environments on student motivation. *Contemporary Educational Psychology*, 36(2), 101–113. (siehe S. 30).
- WILDE, M., BASTEN, M., GROSSMANN, N., HAUNHORST, D., DESCH, I., STRÜBER, M., & RANDLER, C. (2018). The (non-)benefit of choosing: If you get what you want it is not important that you chose it. *Motivation and Emotion*, 42(3), 348–359. (siehe S. 3, 29, 32, 172).
- WILDE, M., BÄTZ, K., KOVALEVA, A., & URHAHNE, D. (2009). Überprüfung einer Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM). *ZfDN*, 15. (siehe S. 88, 89, 96, 107, 162).
- WINKELMANN, J. (2015). *Auswirkungen auf den Fachwissenszuwachs und auf affektive Schülermerkmale durch Schüler- und Demonstrationsexperimente im Physikunterricht* (Bd. 179). Logos. (siehe S. 2, 20, 45, 58, 86).
- WINKELMANN, J., WENZEL, S. F., HORZ, H., ULLRICH, M., WEBER, J., & ERB, R. (2018). Experimentieren im Physikunterricht: Wechselwirkung

-
- zwischen Überzeugungen von Lehrkräften und unterschiedlichen Experimentiersituationen. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. (siehe S. 91).
- WODZINSKI, R. (2022a). Differenzierung im Fokus - Physikunterricht für alle Schülerinnen und Schüler gestalten. *Unterricht Physik*, (189/190), 90–91. (siehe S. 11).
- WODZINSKI, R. (2022b). Lernen mit gestuften Hilfen. *Physik Journal*, 12(3), 45–49. (siehe S. 160).
- WOOLNOUGH, B. E. (1976). Practical work in sixth-form physics. *Physics Education*, 11(6), 392–397. (siehe S. 18).
- WOOLNOUGH, B. E., & ALLSOP, T. (1985). *Practical work in science*. Cambridge University Press. (siehe S. 15).
- YAGER, R. E., ENGEN, H. B., & SNIDER, B. C. F. (1969). Effects of the laboratory and demonstration methods upon the outcomes of instruction in secondary biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 6(1), 76–86. (siehe S. 19).
- YEH, Y.-C. (2012). Aptitude-Treatment Interaction. In N. M. SEEL (Hrsg.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (S. 295–298). Springer US. (siehe S. 172).
- ZACHER, J. (2020). *Entscheidungsmöglichkeiten im Unterricht und ihre Wirkung auf die Lernmotivation von Schülerinnen und Schülern*. Kassel University Press. (siehe S. 2, 3, 160, 163).
- ZIMMERMAN, B. J. (1995, 28. Apr.). Self-efficacy and educational development. In A. BANDURA (Hrsg.), *Self-Efficacy in Changing Societies* (1. Aufl., S. 202–231). Cambridge University Press. (siehe S. 26).
- ZIMMERMAN, B. J. (2000). Self-Efficacy: An Essential Motive to Learn. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 82–91. (siehe S. 26, 27, 33).

Abbildungsverzeichnis

2.1	Darstellung des NinU-Schemas nach STINKEN-RÖSNER et al. (2023).	10
2.2	Differenzierungsmatrix in Anlehnung an HOFFMANN und MENTHE (2016) und KUTZER (1995).	12
2.3	Zusammenhang der untersuchten Konstrukte.	33
3.1	Aquakugeln in einer Schale.	38
4.1	Unterrichtskonzept für inklusive Experimentierphasen.	46
4.2	Ablauf der Unterrichtseinheit.	46
4.3	GeoGebra-Modell (Screenshot) einer Aquakugel.	51
4.4	GeoGebra-Modell (Screenshot) einer Aquakugel mit hellen Farben.	53
4.5	H5P-Experimentiervideo (Screenshot) zur Untersuchung eines durchsichtigen Stabes.	55
4.6	Hilfebutton bei der Auswertung des Experimentiervideos (Screenshot).	57
4.7	Herstellung von durchsichtigem Schleim. Abgebildet sind Bastelkleber, Kontaktlinsenflüssigkeit, Natron und ein Becherglas mit dem fertigen Schleim, welcher umgerührt wird.	58
5.1	Ablauf der Erhebung.	74
5.2	Mittelwerte der Skalen V3 (sprachliche Fähigkeiten) und N2 (figurale Fähigkeiten) des KFTs für jede Klasse (Punkt). Die Fehlerbalken stellen die Standardabweichung dar.	82

5.3	Mittelwerte der Skalen V3 (sprachliche Fähigkeiten) und N2 (figurale Fähigkeiten) des KFTs für die Interventions- und Vergleichsgruppe. Die Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar.	83
7.1	Mittelwerte im Prä- und Posttest der Datensätze getrennt nach Lehrkraft für die Skalen „Fachwissen zur Lichtbrechung“, „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“, „physikbezogenes Selbstkonzept“ und „Selbstwirksamkeitserwartung“ beim Experimentieren. Die Fehlerbalken entsprechen dem Standardfehler des Mittelwertes.	106
7.2	Mittelwerte im Prä- und Posttest der Datensätze getrennt nach Cluster für die Skalen „Fachwissen zur Lichtbrechung“, „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“, „physikbezogenes Selbstkonzept“ und „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“. Die Fehlerbalken entsprechen dem Standardfehler des Mittelwertes.	112
8.1	Mittelwerte im Prä- und Posttest der Datensätze getrennt nach Interventions- und Vergleichsgruppe für die Skalen „Fachwissen zur Lichtbrechung“, „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“, „physikbezogenes Selbstkonzept“ und „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“. Die Fehlerbalken entsprechen dem Standardfehler des Mittelwertes.	132
8.2	Mittelwerte der Skala „Fachwissen zur Lichtbrechung“ für den Prä- und Posttest für die Interventions- und Vergleichsgruppe unter Einbezug von Kovariaten.	135
8.3	Fachwissenszuwachs (Mittelwerte) in Abhängigkeit von Klassenstufe, getrennt nach Interventions- und Vergleichsgruppe.	145
8.4	Zusammenhang der untersuchten Variablen in der Studie. Die Zahlen neben den Strichen (Zusammenhang) und Pfeilen (Kausalzusammenhang) entsprechen dem Pearson-Korrelationskoeffizienten. **: Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 (2-seitig) signifikant. *: Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.05 (2-seitig) signifikant.	146

A.1	Mittelwerte im Prä- und Posttest der Datensätze getrennt nach Interventions- und Vergleichsgruppe für die Subskalen der „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“. Die Fehlerbalken entsprechen dem Standardfehler des Mittelwertes.	211
A.2	Q-Q-Diagramme der Skala „Fachwissen“	220
A.3	Boxplot-Diagramm mit Ausreißern für verschiedene Skalen. Leichte Ausreißer sind als Kreis zusammen mit der Fallnummer markiert.	221
A.4	Boxplot-Diagramm mit Ausreißern der Skalen „intrinsische Motivation“ und „wahrgenommene Wahlfreiheit“. Leichte Ausreißer sind als Kreis zusammen mit der Fallnummer markiert. Es sind nur 9 leichte Ausreißer vorhanden.	222

Tabellenverzeichnis

5.1	Interne und externe Validität bei verschiedenen Studiendesigns (DÖRING & BORTZ, 2016, S. 208).	71
5.2	Tabellarische Einordnung verschiedener Varianzanalysen anhand der Anzahl der abhängigen Variablen (AV) mit und ohne Messwiederholung (MW) sowie der Anzahl der unabhängigen Variablen (UV) nach BÜHNER und ZIEGLER (2009, S. 484). . . .	77
5.3	Anzahl der Befragungspersonen nach Schulform in Prozent. .	81
6.1	Adaption der Skala „wahrgenommene Wahlfreiheit“ des IMI. .	91
7.1	Prozentuale Anteile der fünf Experimentierformen an der Gesamtanzahl der durchgeführten Experimente pro Klasse. . . .	97
7.2	Ergebnisse des gepaarten t -Tests (Prä, Post) ($n=87$). Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD), Standardfehler des Mittelwertes (SEM), die Unter- (UG) und Obergrenzen (OG) eines 95 % Konfidenzintervalls (CI), t -Werte (T), Anzahl an Freiheitsgraden (df) sowie Signifikanzwerte p und Effektstärken Cohens d_z berichtet. Signifikante p -Werte ($p < .05$) sind fett hervorgehoben.	100
7.3	Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung. Es werden Signifikanzwerte p und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet. Signifikante p -Werte ($p < .05$) sind fett hervorgehoben.	103

7.4	Ergebnisse des gepaarten t -Tests (Prä, Post) ($n=46$) für Lehrkraft 1. Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD), Standardfehler des Mittelwertes (SEM), die Unter- (UG) und Obergrenzen (OG) eines 95 % Konfidenzintervalls (CI), t -Werte (T), Anzahl an Freiheitsgraden (df) sowie Signifikanzwerte p und Effektstärken Cohens d_z berichtet. Signifikante p -Werte ($p < .05$) sind fett hervorgehoben.	104
7.5	Ergebnisse des gepaarten t -Tests (Prä, Post) ($n=41$) für Lehrkraft 2. Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD), Standardfehler des Mittelwertes (SEM), die Unter- (UG) und Obergrenzen (OG) eines 95 % Konfidenzintervalls (CI), t -Werte (T), Anzahl an Freiheitsgraden (df) sowie Signifikanzwerte p und Effektstärken Cohens d_z berichtet. Signifikante p -Werte ($p < .05$) sind fett hervorgehoben.	105
7.6	Einfluss der Cluster. Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung. Interaktionseffekte der Variablen und Sub- variablen mit dem Faktor Cluster. Es werden Signifikanzwerte p und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet. Signifikante p -Werte ($p < .05$) sind fett hervorgehoben.	111
7.7	Korrelationen der Variablen (Differenz zwischen Prä- und Post- test) mit der Anzahl der bearbeiteten Experimente. Signifikante p -Werte sind fett hervorgehoben. Der Korrelationskoeffizient ist Spearmans ρ	114
8.1	Cronbachs Alpha der Skalen.	121
8.2	Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung. Es werden Signifikanzwerte p und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet. Signifikante p -Werte sind fett hervorgehoben. . .	129
8.3	Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung für die Subskalen der Skala „Einschätzung der Lehr- und Lern- bedingungen“. Es werden Signifikanzwerte p und als Effektstär- ken das partielle η^2 berichtet.	129
8.4	Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA. Es werden Signifikanz- werte p und als Effektstärken η^2 berichtet. Signifikante p -Werte sind fett hervorgehoben.	130

8.5	Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA für die Subskalen der Skala „intrinsische Motivation“. Es werden Signifikanzwerte p und als Effektstärken η^2 berichtet. Signifikante p-Werte sind fett hervorgehoben.	130
8.6	Deskriptive Statistiken für die Skala „Fachwissen“. Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD) und die Gruppengrößen bzw. Anzahl der Versuchspersonen (N) angegeben.	131
8.7	Tests der Zwischen- und Innersubjekteffekte für die Skala „Fachwissen“. Es werden Quadratsummen (QS), Anzahl der Freiheitsgrade (df), Mittel der Quadratsumme (MS), <i>F</i> -Werte, Signifikanzwerte p und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet.	133
8.8	Deskriptive Statistiken für die Skala „Fachwissen“ mit Kovariaten. Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD) und die Gruppengrößen bzw. Anzahl der Versuchspersonen (N) angegeben.	134
8.9	Tests der Zwischen- und Innersubjekteffekte der zweifaktoriellen ANCOVA mit Messwiederholung für das „Fachwissen“. Es werden Quadratsummen (QS), Anzahl der Freiheitsgrade (df), Mittel der Quadratsumme (MS), <i>F</i> -Werte, Signifikanzwerte p und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet.	135
8.10	Deskriptive Statistiken für die Skala „Lehr- und Lernbedingungen“. Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD) und die Gruppengrößen bzw. Anzahl der Versuchspersonen (N) angegeben.	136
8.11	Tests der Zwischen- und Innersubjekteffekte für die Skala „Lehr- und Lernbedingungen“. Es werden Quadratsummen (QS), Anzahl der Freiheitsgrade (df), Mittel der Quadratsumme (MS), <i>F</i> -Werte, Signifikanzwerte p und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet.	136
8.12	Deskriptive Statistiken für die Subskalen der Skala „Lehr- und Lernbedingungen“. Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD) und die Gruppengrößen bzw. Anzahl der Versuchspersonen (N) angegeben.	138

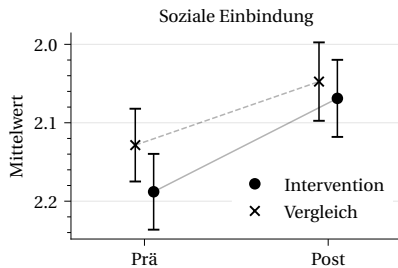
8.13 Tests der Zwischen- und Innersubjekteffekte für die Subskalen der Skala „Lehr- und Lernbedingungen“. Es werden Quadratsummen (QS), Anzahl der Freiheitsgrade (df), Mittel der Quadratsumme (MS), <i>F</i> -Werte, Signifikanzwerte <i>p</i> und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet.	139
8.14 Deskriptive Statistiken für die Skala „Selbstkonzept“. Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD) und die Gruppengrößen bzw. Anzahl der Versuchspersonen (N) angegeben.	140
8.15 Tests der Zwischen- und Innersubjekteffekte für die Skala „Selbstkonzept“. Es werden Quadratsummen (QS), Anzahl der Freiheitsgrade (df), Mittel der Quadratsumme (MS), <i>F</i> -Werte, Signifikanzwerte <i>p</i> und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet.	140
8.16 Deskriptive Statistiken für die Skala „Selbstwirksamkeitserwartung“. Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD) und die Gruppengrößen bzw. Anzahl der Versuchspersonen (N) angegeben.	141
8.17 Tests der Zwischen- und Innersubjekteffekte für die Skala „Selbstwirksamkeitserwartung“. Es werden Quadratsummen (QS), Anzahl der Freiheitsgrade (df), Mittel der Quadratsumme (MS), <i>F</i> -Werte, Signifikanzwerte <i>p</i> und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet.	142
8.18 Deskriptive Statistiken für die Skala „intrinsische Motivation“. Es werden Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD) und die Gruppengrößen bzw. Anzahl der Versuchspersonen (N) angegeben.	142
8.19 Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse für die Skala „intrinsische Motivation“. Es werden Quadratsummen (QS), Anzahl der Freiheitsgrade (df), Mittel der Quadratsumme (MS), <i>F</i> -Werte, Signifikanzwerte <i>p</i> und als Effektstärken das partielle η^2 berichtet.	143
8.20 Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD) und einfaktorielle Varianzanalysen der Subskalen der KIM. Es werden <i>F</i> -Werte, Signifikanzwerte <i>p</i> und als Effektstärken η^2 berichtet.	144
8.21 Eindrücke zur Durchführung der Unterrichtseinheit aus der Interventionsgruppe.	148

8.22 Eindrücke zur Durchführung der Unterrichtseinheit aus der Vergleichsgruppe.	150
8.23 Reflexionsscores der Lehrkräftebögen.	151
9.1 Korrelationen der Variablen mit der Schulform.	169
A.1 Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der T-Werte der Subskalen Wortanalogien (V3) und Figurenanalogien (N2) des KFTs für jede Klasse.	212
A.2 Unterschiede in der einfaktoriellen ANOVA zwischen den Lehrkräften 1 und 2 in der Pilotierung des Unterrichtskonzeptes bei der Skala KIM. Signifikanzwerte $p < .05$ sind fett hervorgehoben.	213
A.3 Itemtrennschärfen (korrigierte Item-Skala-Korrelationen r_{it} und Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen α_i) der Skala „Lehr- und Lernbedingungen“.	214
A.4 Itemtrennschärfen (korrigierte Item-Skala-Korrelationen r_{it} und Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen α_i) der Skala „physikbezogenes Selbstkonzept“.	215
A.5 Itemtrennschärfen (korrigierte Item-Skala-Korrelationen r_{it} und Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen α_i) der Skala „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“.	216
A.6 Itemtrennschärfen (korrigierte Item-Skala-Korrelationen r_{it} und Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen α_i) der Skala „Fachwissen zur Lichtbrechung“.	217
A.7 Itemtrennschärfen (korrigierte Item-Skala-Korrelationen r_{it} und Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen α_i) der Skala „intrinsische Motivation“.	218
A.8 Itemtrennschärfen (korrigierte Item-Skala-Korrelationen r_{it} und Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen α_i) der Skala „wahrgenommene Wahlfreiheit“.	219
A.9 Korrelationsmatrix zur Bestimmung möglicher Kovariaten und Zusammenhänge. Die Zellen geben jeweils die Pearson-Korrelation an. **: Die Korrelation ist auf dem Niveau von .01 (2-seitig) signifikant. *: Die Korrelation ist auf dem Niveau von .05 (2-seitig) signifikant.	223

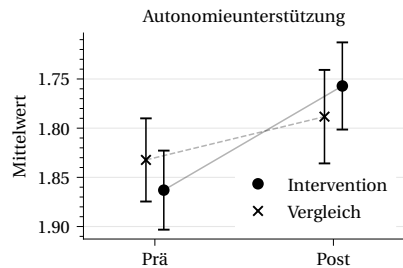
A.10 Korrelationsmatrix zur Bestimmung möglicher Kovariaten und Zusammenhänge. Die Zellen geben jeweils die Pearson-Korrelation an. **: Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 (2-seitig) signifikant. *: Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.05 (2-seitig) signifikant.	224
--	-----

A Zusätzliche Ergebnisse

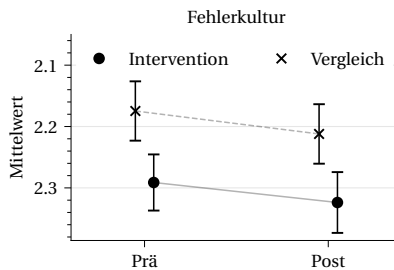
A.1 Zusätzliche Ergebnisgraphen und -tabellen



(a) Mittelwerte der Subskala „soziale Einbindung“ der LLB für den Prä- und Posttest für die Interventions- und Vergleichsgruppe.



(b) Mittelwerte der Subskala „Autonomieunterstützung“ der LLB für den Prä- und Posttest für die Interventions- und Vergleichsgruppe.



(c) Mittelwerte der Subskala „Fehlerkultur“ der LLB für den Prä- und Posttest für die Interventions- und Vergleichsgruppe.

Abbildung A.1: Mittelwerte im Prä- und Posttest der Datensätze getrennt nach Interventions- und Vergleichsgruppe für die Subskalen der „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“. Die Fehlerbalken entsprechen dem Standardfehler des Mittelwertes.

Tabelle A.1: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der T-Werte der Subskalen Wortanalogien (V3) und Figurenanalogien (N2) des KFTs für jede Klasse.

Klasse	V3		N2	
	M	SD	M	SD
11	44.79	10.97	50.68	10.87
12	41.00	10.90	52.48	10.77
13	40.52	8.92	51.23	16.04
14	41.56	6.95	38.33	8.00
15	52.21	7.56	51.89	12.58
16	52.27	6.80	55.73	8.91
17	47.18	8.76	48.77	10.91
18	52.00	6.80	52.15	10.83
19	43.50	6.61	44.35	8.26
31	31.50	3.73	37.00	5.53
32	35.71	5.47	43.29	7.58
33	35.25	4.44	46.36	10.08
34	38.21	9.03	39.13	9.36
35	35.25	6.97	35.13	7.88
36	39.06	9.61	36.50	9.78
51	47.38	8.07	47.71	12.51
52	51.06	9.14	52.11	10.61
53	39.52	9.23	39.96	5.59
54	41.17	6.31	39.57	6.69
55	41.64	9.51	43.68	10.13
61	52.76	12.17	55.29	13.71
62	48.72	8.60	52.28	12.14
63	52.04	5.13	53.59	9.50
64	48.80	6.54	51.52	10.70
72	32.57	8.30	31.05	5.27
73	26.17	5.01	31.72	4.06
74	29.17	4.88	33.19	4.51

Tabelle A.2: Unterschiede in der einfaktoriellen ANOVA zwischen den Lehrkräften 1 und 2 in der Pilotierung des Unterrichtskonzeptes bei der Skala KIM. Signifikanzwerte $p < .05$ sind fett hervorgehoben.

Variable	p-Wert	Partielles η^2
KIM	.212	.02
Interesse & Vergnügen	.540	.01
Wahrg. Kompetenz	.004	.13
Wahrg. Wahlfreiheit	.031	.07
Druck & Anspannung	.949	<.01

Tabelle A.3: Itemtrennschärfen (korrigierte Item-Skala-Korrelationen r_{it} und Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen α_i) der Skala „Lehr- und Lernbedingungen“.

Nr.	Item	Prätest		Posttest	
		r_{it}	α_i	r_{it}	α_i
1	Ich empfand die Stimmung in der Klasse als angenehm.	.29	.83	.33	.85
2	Die Lehrkraft hat mich wahrgenommen.	.58	.82	.55	.84
3	Wir haben auch gelacht.	.35	.83	.41	.85
4	Ich hatte das Gefühl, dass die Lehrkraft meine Mitarbeit schätzt.	.54	.82	.59	.84
5	Ich hatte das Gefühl, dass ich der Lehrkraft wichtig bin.	.53	.82	.53	.84
6	Die Lehrkraft war offen für unterschiedliche Antworten von uns Schülerinnen/Schülern.	.52	.82	.59	.84
7	Wir wurden von der Lehrkraft ermuntert, selbst zu überlegen, wie man am besten vorgeht.	.48	.82	.54	.84
8	Die Lehrkraft gab mir genügend Möglichkeit, selbstständig zu arbeiten.	.49	.82	.53	.84
9	Es standen verschiedene Lösungsmöglichkeiten zur Diskussion.	.40	.83	.41	.85
10	Es war peinlich, Fragen zu stellen.	.43	.83	.42	.85
11	Es war schlecht, etwas Falsches zu sagen.	.45	.83	.42	.85
12	Es war ok, Fehler zu machen.	.47	.82	.52	.84
12	Die Lehrkraft ist auf Fragen eingegangen.	.46	.83	.58	.84
14	Die Beiträge der Schülerinnen/Schüler wurden von der Lehrkraft aufmerksam verfolgt.	.50	.82	.57	.84
15	Es war unangenehm, von der Lehrkraft zu etwas aufgefordert zu werden.	.47	.82	.41	.85
16	Ich habe öfter gedacht: „Hoffentlich komme ich jetzt nicht dran“.	.36	.83	.40	.85
17	Es beteiligten sich nur die guten Schülerinnen und Schüler.	.30	.83	.34	.85

Tabelle A.4: Itemtrennschärfen (korrigierte Item-Skala-Korrelationen r_{it} und Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen α_i) der Skala „physikbezogenes Selbstkonzept“.

Nr.	Item	Prätest		Posttest	
		r_{it}	α_i	r_{it}	α_i
1	Es hat für mich wenig Sinn, dass ich mich in Physik anstrenge, da ich in diesem Fach doch nicht viel erreichen kann.	.19	.58	.15	.68
2	Wenn in Physik eine Aufgabe kompliziert und schwierig wird, macht mir das gerade Spaß und ich bin gespannt, wie ich die Sache hinkriege.	.36	.30	.46	.14
3	Wenn ich eine neue Aufgabe in Physik bearbeiten soll, bin ich sicher, dass ich sie schaffen werde.	.40	.26	.38	.31

Tabelle A.5: Itemtrennschärfen (korrigierte Item-Skala-Korrelationen r_{it} und Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen α_i) der Skala „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“.

Nr.	Item	Prätest		Posttest	
		r_{it}	α_i	r_{it}	α_i
1	Obwohl man für ein Experiment viele Geräte benötigt, glaube ich, dass mir das Experiment gelingt.	.43	.78	.56	.82
2	Selbst wenn in der Experimentieranleitung für ein Experiment keine Zeichnungen enthalten sind, glaube ich, dass ich das Experiment schaffe.	.51	.77	.62	.81
3	Selbst wenn die Lehrkraft ein Experiment nicht vorher vorführt, schaffe ich es.	.53	.76	.58	.81
4	Auch wenn ich besonders genau arbeiten muss, gelingt mir ein Experiment.	.55	.76	.64	.81
5	Ich schaffe ein Experiment sogar dann, wenn ich während des Experiments nicht von der Lehrkraft unterstützt werde.	.59	.76	.64	.81
6	Obwohl ich wenig Zeit zum Experimentieren bekomme, schaffe ich es.	.50	.77	.50	.83
7	Ich schaffe ein Experiment, auch wenn ich dabei nervös bin.	.43	.78	.49	.83
8	Ich bin überzeugt, dass ich im Allgemeinen sehr gut experimentieren kann.	.47	.77	.51	.82

Tabelle A.6: Itemtrennschärfen (korrigierte Item-Skala-Korrelationen r_{it} und Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen α_i) der Skala „Fachwissen zur Lichtbrechung“.

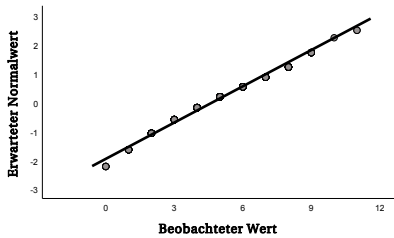
Nr.	Item	Prätest		Posttest	
		r_{it}	α_i	r_{it}	α_i
1	In welcher Situation kannst du Lichtbrechung im Alltag beobachten?	.22	.54	.29	.66
2	Warum sieht der Strohalm geknickt aus?	.29	.53	.31	.65
3	Was verstehst du unter der „Brechung des Lichts“?	.27	.53	.37	.64
4	Ein Mitschüler sagt: „Ich glaube nicht, dass sich Licht gradlinig ausbreitet. Leuchtet man nämlich durch einen Plexiglasklotz, ändert sich die Ausbreitungsrichtung des Lichts.“ Was denkst du dazu?	.29	.53	.43	.63
5	Was kannst du über einen Lichtstrahl beim Übergang von Luft in einen anderen durchsichtigen Stoff (z.B. Glas oder Wasser) sagen?	.29	.53	.27	.66
6	Was kannst du über den Lichtweg durch einen planparallelen Plexiglasklotz (siehe Skizze) sagen?	.22	.54	.26	.66
7	Warum wird Licht an der Wasseroberfläche gebrochen?	.30	.52	.40	.64
8	Legt man eine Münze in ein leeres Wasserbecken und füllt das Becken dann mit Wasser, so scheint die Münze sich in eine Richtung zu bewegen. Welche Richtung ist das?	.16	.55	.30	.65
9	Ein Lichtbündel aus einer Taschenlampe und ein von der Sonne kommendes Lichtbündel werden in einem Versuchsaufbau auf einen Körper aus Glas fallen gelassen. Was passiert mit den beiden Lichtbündeln?	.27	.53	.31	.65
10	Was ist ein Brechungsindex?	.19	.55	.38	.64
11	In folgenden Skizzen bewegt sich ein Lichtstrahl von links nach rechts durch einen transparenten (durchsichtigen) Stoff mit dem Brechungsindex n_1 und trifft auf einen zweiten transparenten Stoff mit dem Brechungsindex n_2 . Welche Skizze gehört zu dem Fall, dass beide Brechungsindizes gleich sind ($n_1 = n_2$)?	.08	.58	.21	.67

Tabelle A.7: Itemtrennschärfen (korrigierte Item-Skala-Korrelationen r_{it} und Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen α_i) der Skala „intrinsische Motivation“.

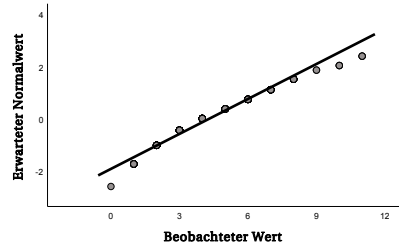
Nr.	Item	Posttest	
		r_{it}	α_i
1	Das Experimentieren hat mir Spaß gemacht.	.32	.77
2	Ich fand das Experimentieren sehr interessant.	.53	.74
3	Das Experimentieren war unterhaltsam.	.55	.74
4	Mit meiner Leistung beim Experimentieren bin ich zufrieden.	.54	.74
5	Beim Experimentieren stellte ich mich geschickt an.	.52	.74
6	Ich glaube, ich war beim Experimentieren ziemlich gut.	.46	.75
7	Ich konnte das Experimentieren selbst steuern.	.46	.75
8	Beim Experimentieren konnte ich wählen, wie ich es mache.	.42	.75
9	Beim Experimentieren konnte ich so vorgehen, wie ich es wollte.	.38	.76
10	Beim Experimentieren fühlte ich mich unter Druck.	.38	.76
11	Beim Experimentieren fühlte ich mich angespannt.	.30	.77
12	Ich hatte Bedenken, ob ich das Experimentieren gut hinbekomme.	.24	.78

Tabelle A.8: Itemtrennschärfen (korrigierte Item-Skala-Korrelationen r_{it} und Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen α_i) der Skala „wahrgenommene Wahlfreiheit“.

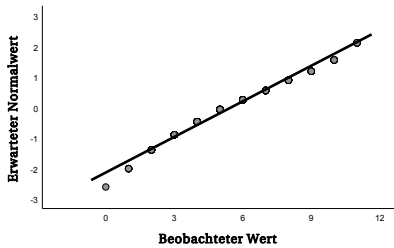
Nr.	Item	Posttest	
		r_{it}	α_i
1	Ich denke, dass ich eine gewisse Wahl hatte beim Experimentieren.	.30	.86
2	Ich hatte das Gefühl, dass es nicht meine eigene Entscheidung war, dieses Experiment zu machen.	.61	.82
3	Ich hatte nicht wirklich die Wahl, dieses Experiment zu machen.	.70	.81
4	Ich hatte das Gefühl, dass ich dieses Experiment machen musste.	.71	.81
5	Ich habe dieses Experiment gemacht, weil ich keine andere Wahl hatte.	.75	.80
6	Ich habe dieses Experiment gemacht, weil ich es wollte.	.42	.85
7	Ich habe dieses Experiment gemacht, weil ich es musste.	.69	.81



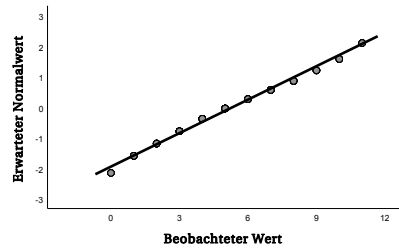
(a) Q-Q-Diagramm der Skala „Fachwissen“ im Prätest der Interventionsgruppe.



(b) Q-Q-Diagramm der Skala „Fachwissen“ im Prätest der Vergleichsgruppe.

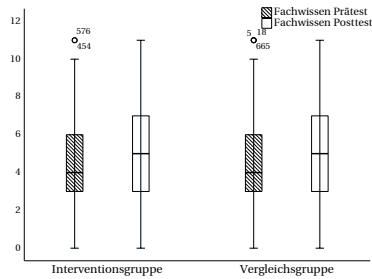


(c) Q-Q-Diagramm der Skala „Fachwissen“ im Posttest der Interventionsgruppe.

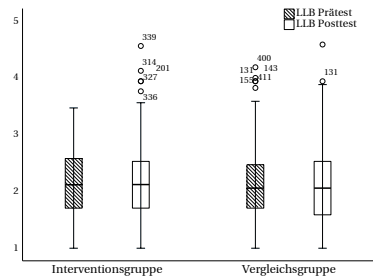


(d) Q-Q-Diagramm der Skala „Fachwissen“ im Posttest der Vergleichsgruppe.

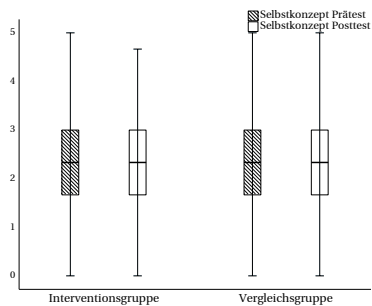
Abbildung A.2: Q-Q-Diagramme der Skala „Fachwissen“.



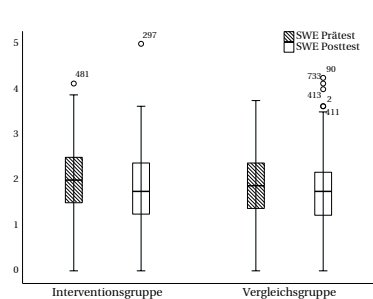
(a) Skala „Fachwissen zur Lichtbrechung“ mit 5 leichten Ausreißern.



(b) Skala „Lehr- und Lernbedingungen“ mit 12 leichten Ausreißern.



(c) Skala „physikbezogenes Selbstkonzept“ ohne Ausreißer.



(d) Skala „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“ mit 7 leichten Ausreißern.

Abbildung A.3: Boxplot-Diagramm mit Ausreißern für verschiedene Skalen. Leichte Ausreißer sind als Kreis zusammen mit der Fallnummer markiert.

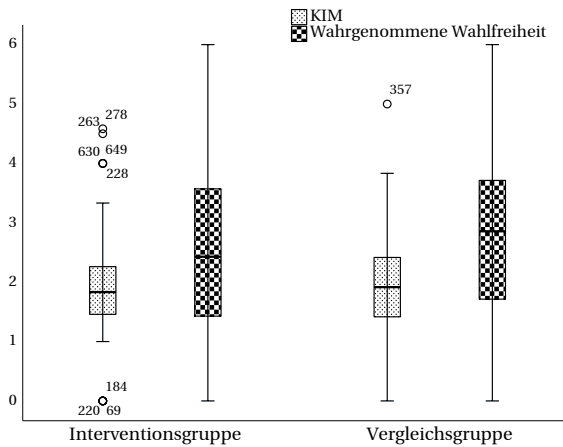


Abbildung A.4: Boxplot-Diagramm mit Ausreißern der Skalen „intrinsische Motivation“ und „wahrgenommene Wahlfreiheit“. Leichte Ausreißer sind als Kreis zusammen mit der Fallnummer markiert. Es sind nur 9 leichte Ausreißer vorhanden.

Tabelle A.9: Korrelationsmatrix zur Bestimmung möglicher Kovariaten und Zusammenhänge. Die Zellen geben jeweils die Pearson-Korrelation an. **: Die Korrelation ist auf dem Niveau von .01 (2-seitig) signifikant. *: Die Korrelation ist auf dem Niveau von .05 (2-seitig) signifikant.

	KFT V3	KFT N2	LLB Prä	LLB Post	AU Prä	AU Post	SK Prä	SK Post	SWE Prä	SWE Post
KFT V3	1	.559**	-.013	.038	-.029	.073	-.009	.075	.036	.036
KFT N2	.559**	1	-.136**	-.046	-.115*	-.026	-.028	.056	.006	-.017
LLB Prä	-.013	-.136**	1	.671**	.736**	.447**	.427**	.331**	.237**	.271**
LLB Post	.038	-.046	.671**	1	.493**	.766**	.249**	.298**	.113*	.280**
AU Prä	-.029	-.115*	.736**	.493**	1	.496**	.245**	.210**	.152**	.198**
AU Post	.073	-.026	.447**	.766**	.496**	1	.121**	.154**	.059	.195**
SK Prä	-.009	-.028	.427**	.249**	.245**	.121**	1	.543**	.454**	.439**
SK Post	.075	.056	.331**	.298**	.210**	.154**	.543**	1	.295**	.481**
SWE Prä	.036	.006	.237**	.113*	.152**	.059	.454**	.295**	1	.485**
SWE Post	.036	-.017	.271**	.280**	.198**	.195**	.439**	.481**	.485**	1
KIM	.071	.091	.293**	.494**	.201**	.320**	.204**	.308**	.248**	.422**
WW	.061	.027	.286**	.369**	.185**	.189**	.120**	.188**	.106*	.208**
FW Prätest	.264**	.320**	.209**	.223**	.144**	.171**	.121**	.148**	.163**	.148**
FW Posttest	.236**	.314**	.111*	.196**	-.023	.080	.070	.153**	.064	.107*
TN Fortbildung	-.041	.068	-.224**	-.338**	-.236**	-.269**	-.023	-.024	-.031	-.069
Klassenstufe	-.034	-.190**	.086*	-.128**	.091*	-.069	.124**	.124**	.010	.000
Land / Stadt	.410**	.389**	-.091*	-.063	-.088*	.021	-.099*	.003	-.002	.028

Tabelle A.10: Korrelationsmatrix zur Bestimmung möglicher Kovariaten und Zusammenhänge. Die Zellen geben jeweils die Pearson-Korrelation an. **: Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 (2-seitig) signifikant. *: Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.05 (2-seitig) signifikant.

	KIM	WW	FW Prä	FW Post	TN Fort- bildung	Klassen- stufe	Land / Stadt
KFT V3	.071	.061	-.264**	-.236**	.041	.034	.410**
KFT N2	.091	.027	-.320**	-.314**	.068	.190**	.389**
LLB Prä	.293**	.286**	.209**	.111*	-.224**	.086*	-.091*
LLB Post	.494**	.369**	.223**	.196**	-.338**	-.128**	-.063
AU Prä	.201**	.185**	.144**	-.023	-.236**	.091*	-.088*
AU Post	.320**	.189**	.171**	.080	-.269**	-.069	.021
SK Prä	.204**	.120**	.121**	.070	-.023	.124**	-.099*
SK Post	.308**	.188**	.148**	.153**	-.024	.124**	.003
SWE Prä	.248**	.106*	.163**	.064	-.031	.010	-.002
SWE Post	.422**	.208**	.148**	.107*	-.069	.000	.028
KIM	1	.484**	.192**	.165**	-.183**	-.198**	.029
WW	.484**	1	.132**	.124**	-.134**	-.098*	.007
FW Prätest	.192**	.132**	1	.579**	-.052	-.201**	.245**
FW Posttest	.165**	.124**	.579**	1	-.052	-.360**	.076
TN Fortbildung	-.183**	-.134**	-.052	-.052	1	.167**	.341**
Klassenstufe	-.198**	-.098*	-.201**	-.360**	.167**	1	.089*
Land / Stadt	.029	.007	.245**	.076	.341**	.089*	1

A.2 Aussagen der Lehrkräfte in den Reflexionsbögen

Die im Anhang enthaltenen Aussagen der Lehrkräfte wurden wortwörtlich von den Reflexionsbögen übernommen. Es wurden keine Korrekturen an den Originalaussagen vorgenommen.

A.2.1 Sicherheit

Beschreiben Sie Ihre Eindrücke in Hinblick auf die Sicherheit beim Experimentieren.

Interventionsgruppe

Positiv

- hantiert haben wir mit nicht zerbrechlichen Gefäßen und gefahrenlosen Stoffen. Sicherheit bezog sich auf Rücksichtnahme zum Nächsten. Platz aufräumen → idealer Einstieg ins Handling (*Klasse 21*)
- Alter und Erfahrung aus Unterricht ließ keine Sicherheitslücken entstehen. Auch Reagenzgläser aus Glas waren möglich. (*Klasse 22*)
- Total sicher. Lieber Aquakugel weit weg von Ipad-Geräte aufbauen. (*Klasse 41*)
- Keine Gefahren beim Experimentieren erkennbar. (SuS müssen in der Lage sein, keine Materialien zu essen.) (*Klasse 51, 52, 53*)
- Ich hatte den Eindruck, dass die Sicherheit beim Experimentieren mit den Materialien für die Schülerinnen und Schüler gewährleistet war. Die Schülerinnen und Schüler haben die Anweisungen sorgfältig befolgt und konnten ohne Bedenken selbstständig experimentieren. (*Klasse 63*)
- Gefahren gab es keine, da die SuS experimentieren bzw den Umgang mit Versuchsmaterialien gewohnt sind. (*Klasse 71*)

Neutral

- Glycerin-Experiment/Ausnahme, Abfüllen in das Reagenzglas trotz Umfüllen in Erlenmeyerkolben (?) Ansonsten kein Thema (*Klasse 33*)
- „kein Thema“ bis auf Glycerin - ??? auf dem Fußboden (*Klasse 34*)

Vergleichsgruppe

Positiv

- Sehr gut, SuS sind verantwortungsbewusst und experimentieren gewissenhaft (*Klasse 11*)
- alles sehr gut, SuS haben sich an Anweisungen gehalten (*Klasse 14, 16*)
- Experimente konnten sicher durchgeführt werden. (*Klasse 31, 32*)
- Keine Gefahren beim Experimentieren erkennbar. (SuS müssen in der Lage sein, keine Materialien zu essen.) (*Klasse 54, 55*)
- Gefahren gab es keine, da die SuS experimentieren bzw den Umgang mit Versuchsmaterialien gewohnt sind. (*Klasse 72, 73, 74*)

Neutral

- keine Sicherheitsrisiken, aber durch Erfahrung aus vorherigen Experimenten => Klasse schwierig weil „Blödsinn gemacht wird“ wie z.B. Glycerin und Wasser mischen (*Klasse 19*)
- Ich hatte den Eindruck, dass die Sicherheit beim Experimentieren mit den Aquakugeln für die Schülerinnen und Schüler gewährleistet war. Die Schülerinnen und Schüler haben die Anweisungen sorgfältig befolgt und keine ungewöhnlichen Verhaltensweisen gezeigt. Es gab auch keine besonderen sicherheitsrelevanten Vorfälle, abgesehen von zwei kaputten Reagenzgläsern, was jedoch bei der Durchführung von Experimenten nicht unüblich ist. (*Klasse 62*)

A.2.2 Affektive Merkmale

*Beschreiben Sie Ihre Eindrücke in Hinblick auf affektive Merkmale der Schüler*innen, wie z.B. Motivation.*

Interventionsgruppe

Positiv

- Großteil der SuS motiviert, einige SuS zögerlich wurden dann aber von den motivierten „mitgenommen“ und haben während der Durchführung den Spass / die Motivation gefunden (*Klasse 15, 17, 18*)

- SchülerInnen haben zunächst gespielt bei Wiederholen wurde der Umgang sicherer (Konnte beim Wiederholen aufgebaut werden) und einzelne Aussagen „Ich bin Wissenschaftler“, „Ich bin Einstein“, „Ich bin Labor“ -> SuS hatten Spaß, wurden kreativ, motiviert, Neugier geweckt (Klasse 21)
- Experimentieren steigerte Motivation extrem, auch Neugier, was passiert und Erklärung des Phänomens wollte gewusst werden (Klasse 22)
- Zum Teil sehr motiviert. (Klasse 33)
- Durch das Auswählen der Aufgaben, freies Experiment, „Schleim“-Herstellung schienen viele Schüler motiviert in der Durchführung. (Klasse 34)
- Hohe Motivation, weil sehr interessante Materialien. (Klasse 41)
- Hoch motiviert durch den hohen Lebensweltbezug, dem „Zaubertrick“ und der Transparenz (Klasse 51, 52, 53)
- Die SuS zeigten insgesamt eine hohe Motivation bei der Durchführung der Experimente. Sie waren engagiert und interessiert und nahmen aktiv am Experimentieren teil. Besonders begeistert waren sie von den Experimenten, bei denen sie selbst aktiv werden konnten, wie beispielsweise beim Herstellen von Schleim oder beim Arbeiten mit den Aquakugeln. Auch das Arbeiten mit den iPads hat ihnen gut gefallen. Auch hier lag der Fokus der Gruppe aber eher auf dem Experimentieren und Erleben der Phänomene, als auf der Dokumentation. (Klasse 63)
- Die SuS-Versuche wurden sehr freudig angenommen. Die Klassen führen Experimente bzw praktische Arbeiten gewöhnlich gerne selbst durch und freuen sich auf diese. Zu Stundenbeginn wird meist gefragt, was heute für Versuche gemacht werden, oder wann wieder solche durchgeführt werden. Demoversuche erzielten weit weniger Interesse. (Klasse 71)

Vergleichsgruppe

Positiv

- SuS waren sehr motiviert mit den Experimenten die Frage zu klären / zu erforschen. (Klasse 11)

- Die SuS waren trotz „Sprachherausforderung“ sehr motiviert. (*Klasse 31, 32*)
- Hoch motiviert durch den hohen Lebensweltbezug, dem „Zaubertrick“ und der Transparenz (*Klasse 54*)
- Meine Eindrücke in Hinblick auf die affektiven Merkmale der SuS waren positiv. Die Schülerinnen und Schüler waren sehr motiviert und interessiert an dem Experiment mit den Aquakugeln. Besonders beeindruckt war ich von dem Engagement, mit dem die SuS eigene Untersuchungen durchgeführt haben. Allerdings gab es auch Gruppen, bei denen das Aufschreiben der Ergebnisse nicht so gut funktioniert hat und bei denen es zu Verhaltensauffälligkeiten kam, wie z.B. das Zerbröseln von Aquakugeln anderer Gruppen. Hier werde ich in Zukunft versuchen, durch stärkere Gruppenführung und gezieltes Feedback die Zusammenarbeit und das Verantwortungsbewusstsein der SuS zu fördern. (*Klasse 62*)
- Die SuS-Versuche wurden sehr freudig angenommen. Die Klassen führen Experimente bzw praktische Arbeiten gewöhnlich gerne selbst durch und freuen sich auf diese. Zu Stundenbeginn wird meist gefragt, was heute für Versuche gemacht werden, oder wann wieder solche durchgeführt werden. Demoversuche erzielen weit weniger Interesse. In der Klasse 8[x] freuten sich zehn Schülerinnen, dass es endlich ein Rezept gab, mit denen sie den Schleim erfolgreich herstellen konnten. Das sei ihnen vorher nie gelungen. (*Klasse 72, 73, 74*)

Neutral

- 3 SuS wurden von mir angeleitet, haben dann aber auch die Arbeit aufgenommen und ohne Hilfe fortgesetzt. (*Klasse 14*)
- 7 SuS sehr motiviert, haben 2 Gruppen gebildet und interessiert die Experimente durchgeführt. Restl. SuS eher verhalten, Anleitung nicht richtig gelesen, Fragen nicht beantwortet (*Klasse 19*)
- Schwach motivierte Klasse. Viele „Stinkstiefel“, die alles blöd und langweilig finden. Im Laufe der Reihe entdeckten diese jedoch auch Spaß an der Physik. (*Klasse 55*)

A.2.3 Experimentierkompetenz

*Beschreiben Sie Ihre Eindrücke in Hinblick auf die Experimentierkompetenz der Schüler*innen.*

Interventionsgruppe

Positiv

- SuS konnten Experimentierkompetenz auffrischen und einüben. Ich konnte sehen/erkennen, wie hoch der Fertigungsgrad ist. *(Klasse 22)*
- Insgesamt haben die Schülerinnen und Schüler während der Experimente eine hohe Experimentierkompetenz gezeigt. Sie waren in der Lage, ihre Beobachtungen zu notieren (nach Aufforderung), ihre Ergebnisse zu interpretieren und Schlussfolgerungen zu ziehen. Auch wenn sie manchmal nicht alle Aspekte des Experiments vollständig verstanden haben, waren sie in der Lage, auf ihre Erfahrungen aufzubauen und Fragen zu stellen, um ihr Verständnis zu verbessern. Die SuS waren sehr gut in der Lage, die Materialien und Werkzeuge zu verwenden und die Experimente selbstständig durchzuführen. *(Klasse 63)*
- Die SuS sind geübt darin, Experimente selbstständig durchzuführen und Sicherheitsregeln dabei zu beachten. *(Klasse 71)*

Neutral

- Glycerinexperiment - Fähigkeit, Flüssigkeiten in Gefäße umzufüllen trotz Spritzflasche war sehr „schwierig“. Rest kein Thema *(Klasse 33)*
- nicht so gut entwickelte Experimentierkompetenz: SuS hatten aber keine Probleme mit den bereitgestellten Experimenten. Generell hat die Experimentierkompetenz aufgrund der Corona-Beschränkungen gelitten (wenige Experimente, Distanzbeschulung) *(Klasse 51, 52)*

Negativ

- Oft war das „Lesen“ der Anleitung die Herausforderung. *(Klasse 34)*
- Nicht kompetent genug in der 7. Klasse. Das ist auch DIE Erkenntnis, was ich bei der Durchführung in Klasse hatte :). Ich werde genau diese

Kompetenz stärken müssen. Hauptsächlich die Kompetenz, sich mit einer Fragestellung länger auseinander zu setzen. (*Klasse 41*)

- ganz schwach entwickelte Experimentierkompetenz: SuS hatten aber keine Probleme mit den bereitgestellten Experimenten. Generell hat die Experimentierkompetenz aufgrund der Corona-Beschränkungen und der Klassengröße gelitten (wenige Experimente, Distanzbeschulung) (*Klasse 53*)

Vergleichsgruppe

Positiv

- Die Experimentierkompetenz hat sich als hoch herausgestellt. Die Versuchsanleitungen wurden gelesen, die Durchführung geplant, Durchführung auch teilw. mit BGOD-Geräten mit Bildern + Video dokumentiert (zusätzlich zu Papierbogen) (*Klasse 11*)
- Obwohl die SuS noch nicht sehr viele Experimente durchgeführt haben => hoch. haben Anleitungen genau gelesen, Ablauf durchgesprochen und dann das Experiment durchgeführt. (*Klasse 14, 16*)
- Ich hatte den Eindruck, dass die SuS über eine gute Experimentierkompetenz verfügen. Sie waren in der Lage, die gegebenen Anweisungen umzusetzen und eigenständig Untersuchungen durchzuführen. Die SuS kamen gut mit den Materialien zurecht und zeigten großes Interesse an den Experimenten mit den Aquakugeln. Die Arbeit in selbst gewählten Kleingruppen förderte bei den Gruppen, die die Experimente mit einer gewissen Ernsthaftigkeit durchführten, die Zusammenarbeit und die Entwicklung sozialer Kompetenzen. (*Klasse 62*)
- Die SuS sind geübt darin, Experimente selbstständig durchzuführen und Sicherheitsregeln dabei zu beachten. (*Klasse 72, 73, 74*)

Negativ

- Der Großteil der Klasse hat Probleme mit der Durchführung von Experimenten (wenig Übung). Konzentration nur kurz vorhanden, danach „rumspielen“ mit den Materialien statt Versuch nach Anleitung durchzuführen. (*Klasse 19*)

- Zum Teil waren die Schüler nicht motiviert selbstständig zu arbeiten. (Klasse 31, 32)
- Experimentierkompetenz wurde nicht entwickelt: SuS hatten aber keine Probleme mit den bereitgestellten Experimenten. Die gesamte Klasse war sehr häufig in Quarantäne und wurde dIstanzbeschult. (Klasse 54, 55)

A.2.4 Fachwissen

*Beschreiben Sie Ihre Eindrücke in Hinblick auf das Fachwissen der Schüler*innen.*

Interventionsgruppe

Positiv

- zum Teil kamen spontan Erkenntnisse hoch und Anwendungen aus dem Alltag (Klasse 33)
- Aha-Effekte (Klasse 34)
- Das war als vermittelndes Experimentieren angedacht, deshalb kein Fachwissen vorerst vorhanden. Sie haben es sich auf jeden Fall noch lange danach (Ende HJ) an das Thema erinnert. (Klasse 41)
- Aus meiner Perspektive haben die SuS in der zweiten Unterrichtseinheit ein ähnlich gutes Verständnis für das Thema entwickelt, wie in der Vergleichsgruppe. Obwohl sie vorher keine Erfahrung mit Brechungsindex hatten, waren sie in der Lage, das Konzept während des Experimentierens mit den unterschiedlichen Materialien zu verstehen und anzuwenden. (Klasse 63)

Negativ

- Der Transfer von Experiment zur Fachsprache viel schwer. Kleinschrittige Unterstützung notwendig. (Klasse 21)
- Übergang von Experiment zu Fachwissen fiel sehr schwer. Mr ist unklar, ob das verstanden wurde, was zu verstehen war. (Klasse 22)
- Fachwissen wurde bereits in Klasse 7 (im Online-Unterricht während Corona) nur unvollständig erarbeitet. Das Fachwissen sollte daher in

Bezug auf die Unterrichtsreihe sehr schwach sein. Generell hat das Fachwissen aufgrund von der Distanzbeschulung gelitten. (*Klasse 51, 52*)

- Kein Fachwissen zuvor im Unterricht erarbeitet. (*Klasse 53*)

Vergleichsgruppe

Positiv

- Mehrzahl der SuS hatte noch passives Wissen zu dem Thema. Ca. die Hälfte hatte aktives Wissen und konnte beim Demoexperiment auf fachlicher Basis Vermutungen sammeln. (*Klasse 11*)
- Brechungsindex / Lichtbrechung im letzten Schuljahr unter Corona-Bedingungen (Video-Konf und Erklärvideos) behandelt. (*Klasse 14*)
- Gerade in den Experimenten auf dem iPad konnten die SuS ihr Wissen gut anwenden (*Klasse 31, 32*)
- Meinem Eindruck nach hatten die SuS ein grundlegendes Verständnis für die Experimente mit den Aquakugeln. Einige SuS zeigten sogar ein tieferes Verständnis und erkannten, dass Wasser den gleichen Brechungsindex wie die Aquakugeln hat. Obwohl wir das Thema Brechungsindex zuvor nicht behandelt hatten, konnten einige wenige SuS dieses Wissen erfolgreich auf die Experimente übertragen. Insgesamt hatten die SuS ausreichend Fachwissen, um die Experimente durchzuführen. Allerdings war das Experimentieren mit den Aquakugeln auch eine Gelegenheit, um das vorhandene Wissen zu erweitern und zu vertiefen. (*Klasse 62*)

Negativ

- kein Fachwissen (*Klasse 16*)
- Die SuS haben zu Optik kein Fachwissen (Einheit noch nicht behandelt). Zum Thema Wärmelehre oft nur rudimentäres Fachwissen da viele leistungsschwache SuS (*Klasse 19*)
- Kein Fachwissen zuvor im Unterricht erarbeitet. (*Klasse 54, 55*)

A.2.5 Überfachliche Kompetenzen

*Beschreiben Sie Ihre Eindrücke in Hinblick auf die überfachlichen Kompetenzen der Schüler*innen, wie z.B. Teamfähigkeit.*

Interventionsgruppe

Positiv

- SuS arbeiteten allein. Leseverstehen wurde trainiert und Kommunikationskompetenz „Wie stelle ich eine Frage richtig?“ (genau fragen, sich präzise ausdrücken) (*Klasse 22*)
- Auch die Entwicklung der sozialen Kompetenzen hat unter Corona stark gelitten. Da die Unterrichtsreihe jedoch so motivierend war, waren alle SuS „Feuer und Flamme“ und agierten gut im Team. Obwohl den SuS freigestellt wurde, auch in EA zu arbeiten, entschieden sich fast alle für PA oder GA. (*Klasse 51, 52*)
- Gut entwickelte Sozialkompetenz. Da die Unterrichtsreihe so motivierend war, waren alle SuS „Feuer und Flamme“ und agierten gut im Team. Obwohl den SuS freigestellt wurde, auch in EA zu arbeiten, entschieden sich fast alle für PA oder GA. (*Klasse 53*)
- In Hinblick auf die überfachlichen Kompetenzen der Schüler*innen in der zweiten Unterrichtseinheit konnte ich feststellen, dass sie sehr gut in der Gruppe zusammengearbeitet haben. Die Schülerinnen und Schüler haben sich gegenseitig unterstützt und sich aufgeteilt, um die verschiedenen Experimente durchzuführen. Es gab keine nennenswerten Konflikte innerhalb der Gruppen. Insgesamt hatte ich den Eindruck, dass die Schülerinnen und Schüler sehr teamfähig waren und gut miteinander kommunizieren konnten. (*Klasse 63*)

Neutral

- Zunächst wurde einzeln gedacht „Ich mach das alleine“. Jeder sollte alles in der Hand haben. Erst beim Wiederholen half man sich gegenseitig, tauschte sich aus. „Mach das so“ „Es ist besser, wenn du das Gefäß nimmst.“ (*Klasse 21*)
- Jeder hat für sich gearbeitet. (*Klasse 33*)

- Sehr unterschiedlich. Es gibt Grüppchen, die darin geübt sind und auch gerne gemeinsam arbeiten, aber welche die weder teamfähig sind noch zu Einzelarbeit fähig sind. (*Klasse 41*)
- Große Streuung in der Klasse. Manche Gruppen verhalten sich vorbildlich, andere wollen alles alleine machen und nicht Aufgaben teilen. (*Klasse 71*)

Negativ

- Problemlösefähigkeit z. Teil nicht ausgeprägt. Lieber Frau [X] rufen als die Simulation neu zu starten. (*Klasse 34*)

Vergleichsgruppe

Positiv

- Sehr gut, Teams haben sich gebildet, Aufgaben verteilt und Durchführung ohne Probleme. (*Klasse 11*)
- Sehr gut. Aufgaben wurden verteilt, auf Protokollierung geachtet. (*Klasse 14, 16*)
- Zum Teil haben sich SuS mit gleicher Aufgabenstellung gegenseitig unterstützt. (*Klasse 31, 32*)
- SuS arbeiteten gut im Team. (*Klasse 54*)
- Die Klasse arbeitet insgesamt sehr gut zusammen. Da es freigestellt war, wer mit wem zusammenarbeiten darf, haben die meisten Gruppen sehr effektiv gearbeitet. Dabei zeigte sich auch deutlich, dass die interessierteren Kids sehr gut zusammengearbeitet haben, während die Kids mit weniger Interesse am Schulischen sich gegenseitig stark abgelenkt haben. Die Kids haben sich gegenseitig mit Materialien wie Cola oder anderem ausgeholfen. (*Klasse 62*)
- Große Streuung in der Klasse. Fast immer verhielten sich alle Gruppen verhalten sich vorbildlich, . (*Klasse 72, 74*)

Neutral

- Gruppen die sich gebildet haben, hatten identische Interessen: - gezielte und interessierte Bearbeitung der Experimente - an der Experimentierstation Zeit verbringen (*Klasse 19*)
- Große Streuung in der Klasse. Manche Gruppen verhalten sich vorbildlich, andere wollen alles alleine machen und nicht Aufgaben teilen. (*Klasse 73*)

Negativ

- SuS arbeiteten generell nicht so gut. Im Team ruhen sich einzelne SuS immer mal wieder aus. Keine gute Teamfähigkeit. (*Klasse 55*)

A.2.6 Inklusionsaspekte

*Falls in Ihrer Klasse Schüler*innen mit Förderbedarf waren: Wie verlief die Unterrichtseinheit in Hinblick auf Inklusion? Wie kamen diese Schüler*innen zurecht?*

Interventionsgruppe

Positiv

- recht gut. Erstaunlicherweise beide Typen, gute & schlechte, weil es interessante Materialien zu experimentieren gab. Und aber, ob sie sich inhaltlich so gern damit beschäftigt haben, ist eine andere Frage. Sie waren aber definitiv eingebunden & haben gut mitgemacht. (*Klasse 41*)

Negativ

- G-/E Kurs wird binnendifferenziert unterrichtet. hier kein Schüler mit Inklusion, jedoch „sprachliche“ Hürden (*Klasse 33*)
- Brauchten zusätzliche Unterstützung, haben kein „Protokoll“ erstellt (*Klasse 34*)

Vergleichsgruppe

Positiv

- Wenn die SuS bereit waren, zu arbeiten, konnten diese die Experimente ohne große Schwierigkeiten durchführen. (*Klasse 31, 32*)

A.2.7 Differenzierung

Beschreiben Sie Ihre Eindrücke in Hinblick auf Differenzierung in der Klasse.

Interventionsgruppe

Positiv

- SchülerInnen haben alles erst angeschaut, „schwer“ zunächst stehen gelassen. Das Angebot war optimal, weil unterschiedliche Entscheidungen fielen, „was schwer ist“ (*Klasse 21*)
- Protokolltiefe selbst gewählt (*Klasse 34*)
- Genau die schwächeren Schüler hatten viel Spaß an den Aquakugeln & der Schleim hat jedem gefallen :). Ich habe die Schüler zu verschiedenen Stationen laufen lassen & darin ließ sich hinterher erkennen, wer letztlich sich an den Stoff erinnert & das waren alle. (*Klasse 41*)
- SuS konnten die Sozialform und die Experimente frei wählen. Es wurde keinem langweilig und niemand war über- oder unterfordert. Perfektes Maß an Differenzierung. (*Klasse 51, 52, 53*)
- In Bezug auf die Differenzierung in der Klasse war meine Beobachtung, dass die Schülerinnen und Schüler unterschiedliche Experimente gewählt haben, die ihren Interessen und Fähigkeiten entsprachen. Die freie Wahl der Experimente ermöglichte es den Schülerinnen und Schülern, in Gruppen zu arbeiten, die ihren Bedürfnissen und Interessen entsprachen. Ich habe beobachtet, dass einige Gruppen schneller arbeiteten als andere und dass einige Schülerinnen und Schüler schneller Verständnis für die Experimente zeigten als andere. Insgesamt denke ich, dass die Schülerinnen und Schüler durch die freie Wahl der Experimente und die Möglichkeit, in Gruppen zu arbeiten, in der Lage waren, ihr individuelles Potenzial auszuschöpfen und ihre Fähigkeiten zu verbessern. (*Klasse 63*)

Neutral

- Hier konnten Gruppenzusammenstellungen variiert werden, so dass stärkere SuS den Schwächeren helfen konnten. Als Lehrkraft konnte gezielt mehr Hilfestellung durch Erklärungen oder Hinführungen im

Gespräch gegeben werden. Die Versuche, Aufgabenstellungen und die Theorie wurden bei Bedarf sehr kleinschrittig erklärt. Hinsichtlich der Theorie war das Thema weniger gut zu differenzieren. *(Klasse 71)*

Negativ

- G-Kurs Schüler bearbeiten Protokoll weniger „intensiv“ *(Klasse 33)*

Vergleichsgruppe

Positiv

- Es wurde keinem langweilig und niemand war über- oder unterfordert. *(Klasse 54)*
- Die anfängliche Langeweile wich schnell der Faszination dank des intensiven Experimentierens. *(Klasse 55)*
- Insbesondere das Experimentieren mit den Aquakugeln hat den Schüler*innen die Möglichkeit gegeben in ihrer eigenen Geschwindigkeit zu arbeiten und ggf. ihre eigenen Ideen umzusetzen. Die schwächeren Kids haben die von mir genannten Vorschläge ausprobiert. *(Klasse 62)*

Neutral

- Da die SuS selber wählen durften, konnte nicht durch die Aufgabenstellung differenziert werden, sondern es wurde durch die Erstellung (Tiefe, Ausführlichkeit) des Protokolls differenziert. *(Klasse 31, 32)*
- Hier konnten Gruppenzusammenstellungen variiert werden, so dass stärkere SuS den Schwächeren helfen konnten. Als Lehrkraft konnte gezielt mehr Hilfestellung durch Erklärungen oder Hinführungen im Gespräch gegeben werden. Die Versuche, Aufgabenstellungen und die Theorie wurden bei Bedarf sehr kleinschrittig erklärt. Hinsichtlich der Theorie war das Thema weniger gut zu differenzieren. *(Klasse 72, 73, 74)*

A.2.8 Unterrichtsqualität

Beschreiben Sie Ihre Eindrücke in Hinblick auf Störungen und effektive Lernzeit.

Interventionsgruppe

Positiv

- Hier gab es kaum Unterrichtsstörungen. SuS waren „beschäftigt“. Wie effektiv die tatsächliche Lernzeit war, ist durch Beobachtungen schwer zu erkennen. (*Klasse 33*)
- Keine Unterrichtsstörungen. Lernzeit wurde optimal genutzt. (*Klasse 52*)
- Keine Unterrichtsstörungen. Effektiv genutzte Lernzeit. (*Klasse 53*)

Neutral

- Es gab wenig akute Störungen, bei den Versuchen konnte ich zum Teil nicht erkennen ob effektive Lernzeit oder „Spielen“ zum Zeit verbringen (*Klasse 34*)
- Pressebeauftragter war da. SuS wurden teilweise während dem Experimentieren interviewt. Allerdings konnten die SuS schnell wieder in die Lernzeit hineinfinden. (*Klasse 51*)
- Während der Unterrichtseinheit gab es nur wenige Störungen. Einige SuS waren jedoch gelegentlich abgelenkt und es gab kurze Momente, in denen sie vom eigentlichen Arbeitsauftrag abwichen. Insgesamt haben die meisten SuS jedoch konzentriert und zielgerichtet gearbeitet. Bezogen auf die effektive Lernzeit kann ich sagen, dass die SuS insgesamt produktiv und engagiert gearbeitet haben. Die meiste Zeit wurde für die Durchführung der Exp. und das Beobachten der Ergebnisse verwendet. Die Dokumentation wurde jedoch manchmal vernachlässigt und es musste darauf hingewiesen werden, dass dies ein wichtiger Teil des Lernprozesses ist. Insgesamt haben die SuS jedoch ausreichend Zeit für ihre Arbeit zur Verfügung gehabt und die meisten haben die Zeit effektiv genutzt. Zwischendurch war es etwas mühsam die „coolen“ Jungs davon zu überzeugen, sich ernsthaft mit den Materialien auseinanderzusetzen, da der Spieltrieb dann teilweise doch sehr groß wurde. Die Arbeitsblätter zum Erfassen der Beobachtungen waren hier hilfreich, da man einen konkreten Arbeitsauftrag geben konnte. Während der Unterrichtseinheit gab es nur wenige Störungen. Einige Schülerinnen und

Schüler waren jedoch gelegentlich abgelenkt und es gab kurze Momente, in denen sie vom eigentlichen Arbeitsauftrag abwichen. Insgesamt haben die meisten Schülerinnen und Schüler jedoch konzentriert und zielgerichtet gearbeitet. In Bezug auf die effektive Lernzeit kann ich sagen, dass die Schülerinnen und Schüler insgesamt produktiv und engagiert an den Experimenten gearbeitet haben. Die meiste Zeit wurde für die Durchführung der Experimente und das Beobachten der Ergebnisse verwendet. Die Dokumentation der Ergebnisse wurde jedoch manchmal vernachlässigt und es musste darauf hingewiesen werden, dass dies ein wichtiger Teil des Lernprozesses ist. Insgesamt haben die Schülerinnen und Schüler jedoch ausreichend Zeit für ihre Arbeit zur Verfügung gehabt und die meisten haben die Zeit effektiv genutzt. *(Klasse 63)*

- Es musste darauf geachtet werden, dass kein Leerlauf entstand bzw. Genug Beschäftigung vorhanden war. Theorie musste kleinschrittig erklärt werden, um SuS bei Laune zu halten. Ebenso durfte der Anteil an Theorie nicht zu umfangreich sein, nicht mehr als 50% der Lernzeit insgesamt einnehmen. *(Klasse 71)*

Negativ

- Es war ein neues Thema für die SuS. Theorie Notwendigkeit nicht sofort eingesehen. Nacharbeiten weniger, keine Geduld/Einsicht seitens der SuS. effektive Lernzeit quasi lediglich beim Experimentieren 1xUE *(Klasse 21)*
- Theorie/Transfer/Input/Auswertungsphase verliefen mit Störung. Lediglich das Experimentieren verbuche ich als effektive Lernzeit *(Klasse 22)*
- Stationswechsel war teilweise schwierig. Der Übergang von Aquakugel zur Ipad war nicht gern gemacht. Alle wollten spielen. An sich hätte ich mit Aquakugel alle glücklich machen können & das Phänomen erklärt. Schleim machen war die Krone. *(Klasse 41)*

Vergleichsgruppe

Positiv

- keine Störungen (*Klasse 11, 14, 16*)

Neutral

- Einige SuS kamen zu spät zum Unterrichtsbeginn. Effektive Lernzeit verschob sich nach den Pause immer nach hinten. (*Klasse 54, 55*)
- Zwischendurch war es etwas mühsam die „coolen“ Jungs davon zu überzeugen, sich ernsthaft mit den Materialien auseinanderzusetzen, da der Spieltrieb dann teilweise doch sehr groß wurde. Die Arbeitsblätter zum Erfassen der Beobachtungen waren hier hilfreich, da man einen konkreten Arbeitsauftrag geben konnte. (*Klasse 62*)
- Es musste darauf geachtet werden, dass kein Leerlauf entstand bzw. Genug Beschäftigung vorhanden war. Theorie musste kleinschrittig erklärt werden, um SuS bei Laune zu halten. Ebenso durfte der Anteil an Theorie nicht zu umfangreich sein, nicht mehr als 50% der Lernzeit insgesamt einnehmen. (*Klasse 72, 73, 74*)

Negativ

- Trödeln (oder Sprachprobleme) mit den Fragebögen (*Klasse 19*)

B Fragebögen

B.1 Schüler*innenfragebogen

B.1.1 Aufgaben des Fachwissenstests

FW 1 In welcher Situation kannst du Lichtbrechung im Alltag beobachten?
Kreuze eine Antwort an.⁵²

1. Beim Skifahren blendet mich der helle Schnee.
2. *Ich schaue vom Ufer aus ins klare Wasser und glaube, dass es sehr flach ist.*
3. Ich betrachte mein Spiegelbild im glatten Wasser eines Sees.
4. Beim Sonnenschein unterbricht z.B. ein Baum das Sonnenlicht, so dass er einen Schatten wirft.

FW 2 Warum sieht der Strohhalm geknickt aus? Kreuze eine Antwort an.



1. Das Licht vom Ende des Strohhalms nimmt nicht den geraden Weg in mein Auge, sondern wird an der Wasseroberfläche totalreflektiert.
2. *Das Licht vom Ende des Strohhalms nimmt nicht den geraden Weg in mein Auge, sondern wird an der Wasseroberfläche gebrochen.*

⁵² Die richtige Antwortmöglichkeit wird im Folgenden kursiv markiert.

3. Das Licht vom Ende des Strohhalms nimmt den geraden Weg in mein Auge. Der Strohhalm ist tatsächlich geknickt.
4. Das Licht vom Ende des Strohhalms nimmt nicht den geraden Weg in mein Auge, sondern wird an der Wasseroberfläche reflektiert.

FW 3 Was verstehst du unter der „Brechung des Lichts“? Kreuze eine Antwort an.

1. *Richtungsänderung des Lichtweges, wenn Licht in einen durchsichtigen Stoff gelangt.*
2. Richtungsänderung des Lichtweges, wenn Licht auf einen nicht durchsichtigen Stoff trifft.
3. Richtungsänderung des Lichtweges, wenn Licht an einem Spiegel umgelenkt wird.
4. Ausbreitung des Lichts, ohne eine Richtungsänderung des Lichtweges.

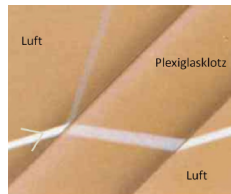
FW 4 Ein Mitschüler sagt: „Ich glaube nicht, dass sich Licht gradlinig ausbreitet. Leuchtet man nämlich durch einen Plexiglasklotz, ändert sich die Ausbreitungsrichtung des Lichts.“ Was denkst du dazu? Kreuze eine Antwort an.

1. Ich stimme dem Schüler zu. Licht besitzt nicht die Eigenschaft, sich gradlinig auszubreiten.
2. Ich stimme dem Schüler nicht zu. Trifft Licht auf einen Plexiglas-klotz, wird es reflektiert.
3. Ich stimme dem Schüler zu. Trifft Licht auf einen Plexiglasklotz, geht es immer auf geradem Weg hindurch.
4. *Ich stimme dem Schüler nicht zu. Licht breitet sich gradlinig aus. Am Plexiglasklotz wird es zwar gebrochen, danach breitet es sich aber wieder gradlinig aus.*

FW 5 Was kannst du über einen Lichtstrahl beim Übergang von Luft in einen anderen durchsichtigen Stoff (z.B. Glas oder Wasser) sagen? Kreuze eine Antwort an.

1. Der Lichtstrahl reicht bis in die Mitte des anderen Stoffes und bringt diesen zum Leuchten.
2. *Der Lichtstrahl ändert seine Richtung, sobald er den anderen Stoff erreicht hat.*
3. Der Lichtstrahl geht nur bis zum Übergang zum anderen Stoff und hört dann auf.
4. Der Lichtstrahl ändert seine Richtung nicht, sondern verläuft einfach gerade weiter.

FW 6 Was kannst du über den Lichtweg durch einen planparallelen Plexiglas-klotz (siehe Skizze) sagen? Kreuze eine Antwort an.



1. Das Licht wird komplett am ersten Übergang von Luft zum Plexiglas reflektiert.
2. Am Übergang von Luft zum Plexiglas wird das Licht zum Teil reflektiert. Das übrige Licht verläuft, nachdem es einmal die Richtung geändert hat, immer gradlinig weiter.
3. *Da die beiden Grenzflächen parallel zueinander liegen, verläuft das Licht nach dem Verlassen des Plexiglas-klotzes wieder in der gleichen Richtung wie vor dem Klotz.*
4. Nur wenn Licht aus der Luft in den Plexiglas-klotz hineinleuchtet, ändert sich seine Ausrichtung.

FW 7 Warum wird Licht an der Wasseroberfläche gebrochen? Kreuze eine Antwort an.

1. Die optische Dichte von Luft und Wasser ist gleich.
2. *Die optische Dichte von Luft und Wasser ist unterschiedlich.*
3. Die optische Dichte der Wasseroberfläche und des Wassers ist unterschiedlich.

4. Die optische Dichte des Lichtes an der Wasseroberfläche wird verändert.

FW 8 Legt man eine Münze in ein leeres Wasserbecken und füllt das Becken dann mit Wasser, so scheint die Münze sich in eine Richtung zu bewegen. Welche Richtung ist das? Kreuze eine Antwort an.

1. Die Münze wird scheinbar nach links bewegt.
2. Die Münze wird scheinbar gesenkt.
3. *Die Münze wird scheinbar gehoben.*
4. Die Münze wird scheinbar nach rechts bewegt.

FW 9 Ein Lichtbündel aus einer Taschenlampe und ein von der Sonne kommendes Lichtbündel werden in einem Versuchsaufbau auf einen Körper aus Glas fallen gelassen. Was passiert mit den beiden Lichtbündeln? Kreuze eine Antwort an.

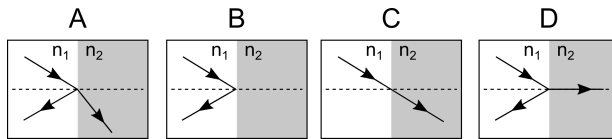
1. Das Lichtbündel aus der Taschenlampe wird gebrochen, das Lichtbündel aus der Sonne wird nicht gebrochen.
2. Das Lichtbündel aus der Taschenlampe wird stärker als das Lichtbündel aus der Sonne gebrochen.
3. Das Lichtbündel aus der Sonne wird stärker als das Lichtbündel aus der Taschenlampe gebrochen.
4. *Beide Lichtbündel werden gleich stark gebrochen.*

FW 10 Was ist ein Brechungsindex? Kreuze eine Antwort an.

1. Der Brechungsindex ist eine Eigenschaft von Licht. Jede Lichtquelle hat einen eigenen Brechungsindex.
2. *Der Brechungsindex ist eine Materialeigenschaft. Jedes durchsichtige Material hat einen eigenen Brechungsindex.*
3. Der Brechungsindex ist weder eine Licht- noch Materialeigenschaft.
4. Der Brechungsindex entspricht der physikalischen Dichte.

FW 11 In folgenden Skizzen bewegt sich ein Lichtstrahl von links nach rechts durch einen transparenten (durchsichtigen) Stoff mit dem Brechungsindex n_1 und trifft auf einen zweiten transparenten Stoff mit dem Bre-

chungsindex n_2 . Welche Skizze gehört zu dem Fall, dass beide Brechungsindizes gleich sind ($n_1 = n_2$)? Kreuze eine Antwort an.



1. A
2. B
3. C
4. D

B.1.2 Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen

Die Einschätzung fand auf einer fünfstufigen Likert-Skala (stimme zu, stimme eher zu, weiß nicht, stimme eher nicht zu, stimme nicht zu) statt.

Soziale Einbindung

LLB 1 Ich empfand die Stimmung in der Klasse als angenehm.

LLB 2 Die Lehrkraft hat mich wahrgenommen.

LLB 3 Wir haben auch gelacht.

LLB 4 Ich hatte das Gefühl, dass die Lehrkraft meine Mitarbeit schätzt.

LLB 5 Ich hatte das Gefühl, dass ich der Lehrkraft wichtig bin.

Autonomieunterstützung

LLB 6 Die Lehrkraft war offen für unterschiedliche Antworten von uns Schülerinnen/Schülern.

LLB 7 Wir wurden von der Lehrkraft ermuntert, selbst zu überlegen, wie man am besten vorgeht.

LLB 8 Die Lehrkraft gab mir genügend Möglichkeit, selbstständig zu arbeiten.

LLB 9 Es standen verschiedene Lösungsmöglichkeiten zur Diskussion.

Fehlerkultur

- LLB 10 Es war peinlich, Fragen zu stellen.
- LLB 11 Es war schlecht, etwas Falsches zu sagen.
- LLB 12 Es war ok, Fehler zu machen.
- LLB 13 Die Lehrkraft ist auf Fragen eingegangen.
- LLB 14 Die Beiträge der Schülerinnen/Schüler wurden von der Lehrkraft aufmerksam verfolgt.
- LLB 15 Es war unangenehm, von der Lehrkraft zu etwas aufgefordert zu werden.
- LLB 16 Ich habe öfter gedacht: „Hoffentlich komme ich jetzt nicht dran“.
- LLB 17 Es beteiligten sich nur die guten Schülerinnen und Schüler.

B.1.3 Physikbezogenes Selbstkonzept

Die Einschätzung fand auf einer fünfstufigen Likert-Skala (stimme zu, stimme eher zu, weiß nicht, stimme eher nicht zu, stimme nicht zu) statt. Zusätzlich wurde die Option „Kann ich nicht beurteilen“ gegeben.

- SK 1 Es hat für mich wenig Sinn, dass ich mich in Physik anstrenge, da ich in diesem Fach doch nicht viel erreichen kann.
- SK 2 Wenn in Physik eine Aufgabe kompliziert und schwierig wird, macht mir das gerade Spaß und ich bin gespannt, wie ich die Sache hinkriege.
- SK 3 Wenn ich eine neue Aufgabe in Physik bearbeiten soll, bin ich sicher, dass ich sie schaffen werde.

B.1.4 Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren

Die Einschätzung fand auf einer fünfstufigen Likert-Skala (stimme zu, stimme eher zu, weiß nicht, stimme eher nicht zu, stimme nicht zu) statt. Zusätzlich wurde die Option „Kann ich nicht beurteilen“ gegeben.

- SWE 1 Obwohl man für ein Experiment viele Geräte benötigt, glaube ich, dass mir das Experiment gelingt.
- SWE 2 Selbst wenn in der Experimentieranleitung für ein Experiment keine Zeichnungen enthalten sind, glaube ich, dass ich das Experiment schaffe.

SWE 3 Selbst wenn die Lehrkraft ein Experiment nicht vorher vorführt, schaffe ich es.

SWE 4 Auch wenn ich besonders genau arbeiten muss, gelingt mir ein Experiment.

SWE 5 Ich schaffe ein Experiment sogar dann, wenn ich während des Experiments nicht von der Lehrkraft unterstützt werde.

SWE 6 Obwohl ich wenig Zeit zum Experimentieren bekomme, schaffe ich es.

SWE 7 Ich schaffe ein Experiment, auch wenn ich dabei nervös bin.

SWE 8 Ich bin überzeugt, dass ich im Allgemeinen sehr gut experimentieren kann.

B.1.5 Kurzskala intrinsische Motivation

Die Einschätzung fand auf einer fünfstufigen Likert-Skala (stimme zu, stimme eher zu, weiß nicht, stimme eher nicht zu, stimme nicht zu) statt. Zusätzlich wurde die Option „Kann ich nicht beurteilen“ gegeben.

Interesse/Vergnügen (interest/enjoyment)

KIM 1 Das Experimentieren hat mir Spaß gemacht.

KIM 2 Ich fand das Experimentieren sehr interessant.

KIM 3 Das Experimentieren war unterhaltsam.

Wahrgenommene Kompetenz (perceived competence)

KIM 4 Mit meiner Leistung beim Experimentieren bin ich zufrieden.

KIM 5 Beim Experimentieren stellte ich mich geschickt an.

KIM 6 Ich glaube, ich war beim Experimentieren ziemlich gut.

Wahrgenommene Wahlfreiheit (perceived choice)

KIM 7 Ich konnte das Experimentieren selbst steuern.

KIM 8 Beim Experimentieren konnte ich wählen, wie ich es mache.

KIM 9 Beim Experimentieren konnte ich so vorgehen, wie ich es wollte.

Druck/Anspannung (pressure/tension)

KIM 10 Beim Experimentieren fühlte ich mich unter Druck.

KIM 11 Beim Experimentieren fühlte ich mich angespannt.

KIM 12 Ich hatte Bedenken, ob ich das Experimentieren gut hinbekomme.

B.1.6 Wahrgenommene Wahlfreiheit

Die Einschätzung fand auf einer sechsstufigen Likert-Skala (stimme zu - stimme nicht zu) statt. Zusätzlich wurde die Option „Kann ich nicht beurteilen“ gegeben.

WW 1 Ich denke, dass ich eine gewisse Wahl hatte beim Experimentieren.

WW 2 Ich hatte das Gefühl, dass es nicht meine eigene Entscheidung war, dieses Experiment zu machen.

WW 3 Ich hatte nicht wirklich die Wahl, dieses Experiment zu machen.

WW 4 Ich hatte das Gefühl, dass ich dieses Experiment machen musste.

WW 5 Ich habe dieses Experiment gemacht, weil ich keine andere Wahl hatte.

WW 6 Ich habe dieses Experiment gemacht, weil ich es wollte.

WW 7 Ich habe dieses Experiment gemacht, weil ich es musste.

B.2 Lehrkräftefragebögen

B.2.1 Reflexionsbogen

Reflexionsbogen Unterricht

Name der Lehrkraft:

Dieser Reflexionsbogen dient der Reflexion der Unterrichtseinheit „Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit“, die Sie in Ihren Klassen durchgeführt haben. Bitte füllen Sie die Felder so gewissenhaft wie möglich aus. Sie können Felder überspringen, die für Sie nicht zutreffen. Falls Sie mehr Platz benötigen, können Sie die letzte Seite nutzen.

Dauer der Unterrichtseinheit: Schulstunden

Klassenstufe:

☐ 5. Klasse ☐ 6. Klasse ☐ 7. Klasse ☐ 8. Klasse ☐ 9. Klasse ☐ 10. Klasse

Anzahl der Schüler*innen:

Klasse:

Bitte schildern Sie Ihre ersten Eindrücke zur Durchführung der Unterrichtseinheit!

Beschreiben Sie Ihre Eindrücke in Hinblick auf die Sicherheit beim Experimentieren.

Beschreiben Sie Ihre Eindrücke in Hinblick auf affektive Merkmale der Schüler*innen, wie z.B. Motivation.

Beschreiben Sie Ihre Eindrücke in Hinblick auf die Experimentierkompetenz der Schüler*innen.

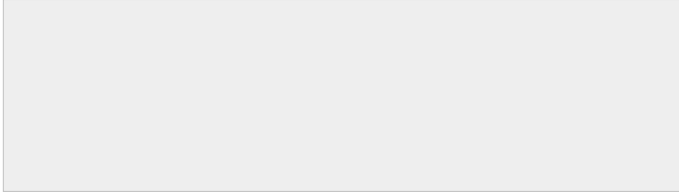
Beschreiben Sie Ihre Eindrücke in Hinblick auf das Fachwissen der Schüler*innen.

Beschreiben Sie Ihre Eindrücke in Hinblick auf die überfachlichen Kompetenzen der Schüler*innen, wie z.B. Teamfähigkeit.

Falls in Ihrer Klasse Schüler*innen mit Förderbedarf waren: Wie verlief die Unterrichtseinheit in Hinblick auf Inklusion? Wie kamen diese Schüler*innen zurecht?

Beschreiben Sie Ihre Eindrücke in Hinblick auf Differenzierung in der Klasse.

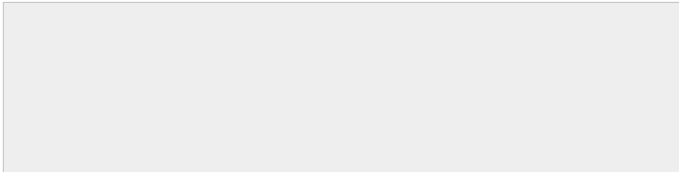
Beschreiben Sie Ihre Eindrücke in Hinblick auf auf Störungen und effektive Lernzeit.



Wie aufwändig haben Sie die Durchführung der Unterrichtseinheit empfunden?

wenig aufwändig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ sehr aufwändig

Welche Anpassungs- oder Verbesserungsvorschläge haben Sie für die Unterrichtseinheit?



Sonstige Anmerkungen:

C Begleitmaterial

C.1 Begleitmaterial für die Lehrkräfte

C.1.1 Begleitmaterial der Interventionsgruppe



LEHRKRÄFTEBEGLEITMATERIAL

Unterrichtseinheit Interventionsgruppe



Ablauf der Unterrichtseinheit „(Un)sichtbarkeit“ (original)

Die Unterrichtseinheit besteht aus 3 Phasen: Instruktions-, Experimentier- und Plenumsphase.

1. Instruktionsphase (1. Stunde, ca. 45 Minuten)



Bevor es losgeht: Prätest (ca. 15 Minuten)

Ziel der Instruktionsphase ist die Einführung in den Kontext, das Sammeln von Hypothesen dazu und das Vorstellen der Experimente der 2. Phase.

Zunächst soll in den Kontext „Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit“ eingeführt werden. Dies geschieht durch das Demonstrationsexperiment (siehe Abb. 1).

Demonstrationsexperiment:

- Aquakugeln werden in ein Becherglas gefüllt.
- In das Becherglas wird Wasser gegossen.
- Die Aquakugeln werden unsichtbar.



Abb. 1: Demonstrationsexperiment

Das Demonstrationsexperiment kann ggf. wiederholt werden. Im Zuge des Experiments sollte den Schüler*innen erklärt werden, was Aquakugeln sind.

Was sind Aquakugeln?

Aquakugeln oder Gelperlen bestehen aus Polymeren, die große Mengen an Wasser absorbieren können. Solche Superabsorber können Wasser speichern und es nach und nach zum Beispiel an Schnittblumen abgeben. Aquakugeln sind somit mit einem Schwamm vergleichbar, der mit Wasser vollgesogen ist.

Aquakugeln werden oft als Granulat verkauft, was für mehrere Stunden in Wasser eingelegt werden muss. Bei der Aufnahme der Flüssigkeit quillt der Superabsorber auf und bildet ein Hydrogel.

Diese Technologie kommt beispielsweise auch bei Windeln und Verbandsmaterialien zum Einsatz.



Im Anschluss an das Demonstrationsexperiment soll die naturwissenschaftliche Fragestellung formuliert werden: „Warum werden manche Gegenstände wie die Aquakugeln unsichtbar?“. (**Auflösung: siehe Anhang**).

Zu dieser Fragestellung sollen die Schüler*innen in Bezugnahme auf das Demonstrationsexperiment Hypothesen formulieren. Diese werden für die letzte Phase in einer Mind-Map von der Lehrkraft festgehalten (siehe Arbeitsblatt „Einführung Mindmap“). Beim Sammeln der Hypothesen sollte darauf geachtet werden, dass sich so viele Schüler*innen wie möglich beteiligen. Bei der Hypothesensammlung sollte die Lehrkraft insbesondere auf Präkonzepte der Lernenden achten.

Mögliche Vorstellungen zur Wechselwirkung von Licht und Materie:

- „Licht bleibt an der Oberfläche liegen und macht einen hellen Lichtfleck.“
- „Pingpong: vor der Reflexion ist nach der Reflexion.“

Die Schüler*innen sollen die naturwissenschaftliche Fragestellung (s.o.) in der anschließenden Phase in 5 Experimenten näher untersuchen. Sie sollen 2 absolvieren und können sich diese **frei** aussuchen. Damit dies gelingt, soll die Lehrkraft anschließend an die Hypothesensammlung die 5 Experimente näher vorstellen.

Experimentierform	Experimentname	Ausgestaltung
Offenes Freihand- experiment	Aquakugeln erleben	Aquakugeln werden unter einer selbstgewählten Fragestellung untersucht.
Modellbildung	Eine Aquakugel im Modell	Es wird im GeoGebra-Modell einer Aquakugel untersucht, unter welchen Bedingungen der Lichtstrahl weder gebrochen noch reflektiert wird.
Digitalisiertes Experiment	Das Material eines Stabes bestimmen	Das Material eines Stabes wird bestimmt, indem dieser in verschiedene durchsichtige Flüssigkeiten getaucht wird.
Kreatives Gestalten	Durchsichtigen Schleim herstellen	Transparenter Schleim wird hergestellt und die Lichtbrechung und seine veränderlichen Transparenzeigenschaften beobachtet.



Angeleitetes Schüler- experiment	Ein Reagenzglas verschwinden lassen	Ein Reagenzglas wird mit Glycerin gefüllt und in ein mit Glycerin gefülltes Glas getaucht.
--	--	---

Näheres zu den Experimentierformen findet sich im Anhang.

2. Experimentierphase (2. & 3. Stunde, ca. 90 Minuten)

In der Experimentierphase sollen die Schüler*innen die naturwissenschaftliche Fragestellung (s.o.) handlungsorientiert näher erkunden.

Die Schüler*innen sollen 2 der 5 Experimente absolvieren, die sie selbst auswählen. Dabei dürfen sie auch entscheiden, ob sie einzeln, in Partner- oder Gruppenarbeit arbeiten wollen. Sie müssen keine festen Paare oder Gruppen bilden.

Die Experimente können an Gruppentischen aufgebaut werden.

Die Versuchsanleitungen geben jeweils vor, was die Schüler*innen beim Experimentieren tun sollen.

Dabei sollen sie sich Notizen auf dem Arbeitsblatt „Deine Forschungsergebnisse“ machen. Das sollte von der Lehrkraft strichprobenartig überprüft werden.

Die Lehrkraft steht den Schüler*innen während dieser Phase beratend zur Seite.

3. Plenumsphase (4. Stunde, ca. 45 Minuten)

Ziel der Plenumsphase ist das Zusammenbringen der Ergebnisse aus der Experimentierphase.

Zunächst soll die Lehrkraft einen Rückbezug auf die Anfangshypothesen vornehmen, indem sie die Mind-Map zeigt, die in der ersten Phase erstellt wurde.

Die Schüler*innen sollen unter Bezugnahme dessen, was sie in der Experimentierphase gelernt haben, nun Stellung zu den Hypothesen beziehen.

Die Individualbeiträge aus den 5 Experimenten sollen zu einem „Großen Ganzen“ zusammengefügt werden, indem die Fragestellung „Warum werden manche Gegenstände wie die Aquakugeln unsichtbar?“ (s.o.) in einer Plenumsdiskussion beantwortet wird.

Als gemeinsames Produkt soll eine Infoseite (Vorlage „Plenum Sammlung“) erstellt werden. Diese kann für alle Schüler*innen zum Abschluss kopiert werden.



Nach der Einheit: Posttest (ca. 15 Minuten)



Anhang

Warum verschiedene Formen von Schülerexperimenten?

Verschiedene Formen von Experimenten erlauben einen höheren Grad an Adaptivität im Physikunterricht, da sie für mehr Differenzierung und Individualisierung sorgen. Schüler*innen können so das Experiment machen, das sie für sich als besonders zugänglich empfinden. Somit wird der (Experimentier-)Unterricht stärker an die verschiedenen Bedürfnisse der Lernenden angepasst.

Offenes Freihandexperiment

Das offene Freihandexperiment soll zum Entdecken und Ausprobieren anregen. Die Schüler*innen forschen selbstbestimmt mit bekannten Materialien, z.B. aus ihrem Alltag. Freihandexperimente sind insbesondere für exploratives Experimentieren geeignet, da sie in der Regel unkompliziert durchzuführen sind und dadurch die Hemmschwelle zum Ausprobieren niedrig ist (Sührig et al., 2020).

Modellbildung

Modelle stellen eine Vereinfachung der Realität dar und weisen damit eine reduzierte Komplexität auf, was für den inklusiven Unterricht gewinnbringend genutzt werden kann. Mit der Software GeoGebra erstellte geometrische Konstruktionen beschreiben die Wirklichkeit zwar nur virtuell, dennoch ermöglichen sie das Experimentieren (Erb & Teichrew, 2020). Bei der „Modellbildung“ sollen die Schüler*innen an einem interaktiven, kontrastreichen GeoGebra-Modell z.B. am Tablet arbeiten, um bei diesem Variablen verändern und direktes Feedback bekommen zu können. Dabei können mathematische Zusammenhänge im Fokus stehen. Die Aufgaben zur Modellbildung können in Einzelarbeit absolviert werden.

Digitalisiertes Experiment

Damit sind interaktive Experimentiervideos (Glatz, Erb & Teichrew, 2020) gemeint, die sich durch eine barrierearme Gestaltung und durch einblendbare zusätzliche Hilfen auszeichnen. Die Schüler*innen werden durch den Versuch geführt, was ideal ist für Lernende, bei denen eigenständiges Experimentieren z.B. aus motorischen Einschränkungen kaum oder gar nicht möglich ist. Darüber hinaus kann so sicher experimentiert werden.

Kreatives Gestalten

„Kreatives Gestalten“ meint einen spielerischen Zugang zum Kontext, wobei sich die physikalische Theorie im Schaffensprozess zu Nutzen gemacht werden soll. Es geht um konkrete Anwendungen des Kontextes, wie z.B. das Bauen eines Kaleidoskops, und lebensweltliche Bezüge.

Angeleitetes Schülerexperiment

Das angeleitete Schülerexperiment ist darauf ausgerichtet, die Experimentierkompetenz der Lernenden zu fördern. Die Schüler*innen folgen einer strukturierten und bebilderten Schritt-für-Schritt-Anleitung und erhalten direktes Feedback durch den Erfolg bzw. Misserfolg des Experimentes. Sie lernen dabei den Umgang mit typischen Experimentiermaterialien. Die Anleitung soll den Schüler*innen Angst im Umgang mit den Materialien nehmen, da sie einen sachgemäßen Gebrauch vorgibt (Sührig et al., 2020).



Warum werden die Aquakugeln unsichtbar?

Aquakugeln haben durch den hohen Wasseranteil denselben Brechungsindex wie Wasser. Übergießt man sie mit Wasser, findet an ihnen keine Lichtbrechung und Reflexion mehr statt und sie erscheinen unsichtbar. Das liegt darin begründet, dass Wasser und Aquakugeln denselben Brechungsindex haben und dadurch keine optische Grenzfläche mehr vorliegt. Dies kann man auch über das Brechungsgesetz erklären (s.u.).

$$n_1 \cdot \sin(\alpha) = n_2 \cdot \sin(\beta)$$

$$n_{\text{Wasser}} \cdot \sin(\alpha) = n_{\text{Aquakugel}} \cdot \sin(\beta)$$

$$\text{Mit } n_{\text{Wasser}} = n_{\text{Aquakugel}} = 1,33$$

$$\Rightarrow 1,33 \cdot \sin(\alpha) = 1,33 \cdot \sin(\beta)$$

$$\sin(\alpha) = \sin(\beta)$$

$$\alpha = \beta$$

Weitere Literatur

Sührig, L., Hartig, K., Erb, R., Horz, H., Teichrow, A., Ullrich, M., & Winkelmann, J. (2020). Schülerexperimente im inklusiven Physikunterricht. PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung.



Verlaufsplan der inklusiven Unterrichtseinheit „(Un)sichtbarkeit“

Basierend auf dem Konzept

Phase	Inhalt	Sozialform	Medien
Test vor der Unterrichtseinheit (ca. 15 min.)	Prätest	Einzelarbeit	Prätest
Instruktion	Demonstrationsexperiment, Hypothesensammlung, Ausblick auf die Experimentierphase	Plenum	Demonstrationsexperiment, Mind-Map (Vorlage „Einführung Mindmap“)
Experimentieren	Schüler*innen wählen 2 der 5 angebotenen Experimente aus und bearbeiten diese	Schüler*innen wählen Sozialform	Angebot der 5 Experimente
Sicherung	Beantwortung der Fragestellung „Warum werden manche Gegenstände wie die Aquakugeln unsichtbar?“	Plenum	Infoseite (Vorlage „Plenum Sammlung“)
Test nach der Unterrichtseinheit (ca. 15 min.)	Posttest	Einzelarbeit	Posttest



Vorlagen

Einführung Mindmap

Warum werden die Aquakugeln
unsichtbar?



Plenum Sammlung

Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit

Was konnten wir in den Experimenten beobachten?

Was konnten wir in den Experimenten herausfinden?

Warum werden die Aquakugeln unsichtbar, wenn sie in Wasser sind?

Warum kann man durchsichtige Dinge sehen?

C.1.2 Begleitmaterial der Vergleichsgruppe



LEHRKRÄFTEBEGLEITMATERIAL

Unterrichtseinheit Vergleichsgruppe



Ablauf der VERGLEICHS-Unterrichtseinheit „(Un)sichtbarkeit“

Die Unterrichtseinheit besteht aus 3 Phasen: Instruktions-, Experimentier- und Plenumsphase.

1. Instruktionsphase (1. Stunde, ca. 45 Minuten)



Bevor es losgeht: Prätest (ca. 15 Minuten)

Ziel der Instruktionsphase ist die Einführung in den Kontext und das Sammeln von Hypothesen dazu.

Zunächst soll in den Kontext „Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit“ eingeführt werden. Dies geschieht durch das Demonstrationsexperiment (siehe Abb. 1).

Demonstrationsexperiment:

- Aquakugeln werden in ein Becherglas gefüllt.
- In das Becherglas wird Wasser gegossen.
- Die Aquakugeln werden unsichtbar.



Abb. 1: Demonstrationsexperiment



Das Demonstrationsexperiment kann ggf. wiederholt werden. Im Zuge des Experiments sollte den Schüler*innen erklärt werden, was Aquakugeln sind.

Was sind Aquakugeln?

Aquakugeln oder Gelperlen bestehen aus Polymeren, die große Mengen an Wasser absorbieren können. Solche Superabsorber können Wasser speichern und es nach und nach zum Beispiel an Schnittblumen abgeben. Aquakugeln sind somit mit einem Schwamm vergleichbar, der mit Wasser vollgesogen ist.

Aquakugeln werden oft als Granulat verkauft, was für mehrere Stunden in Wasser eingelegt werden muss. Bei der Aufnahme der Flüssigkeit quillt der Superabsorber auf und bildet ein Hydrogel.

Diese Technologie kommt beispielsweise auch bei Windeln und Verbandsmaterialien zum Einsatz.

Im Anschluss an das Demonstrationsexperiment soll die naturwissenschaftliche Fragestellung formuliert werden: „Warum werden manche Gegenstände wie die Aquakugeln unsichtbar?“ (**Auflösung: siehe Anhang**).

Zu dieser Fragestellung sollen die Schüler*innen in Bezugnahme auf das Demonstrationsexperiment Hypothesen formulieren. Diese werden für die letzte Phase in einer Mind-Map von der Lehrkraft festgehalten (siehe Arbeitsblatt „Einführung Mindmap“). Beim Sammeln der Hypothesen sollte darauf geachtet werden, dass sich so viele Schüler*innen wie möglich beteiligen. Bei der Hypothesensammlung sollte die Lehrkraft insbesondere auf Präkonzepte der Lernenden achten.

Mögliche Vorstellungen zur Wechselwirkung von Licht und Materie:

- „Licht bleibt an der Oberfläche liegen und macht einen hellen Lichtfleck.“
- „Pingpong: vor der Reflexion ist nach der Reflexion.“

Die Schüler*innen sollen die naturwissenschaftliche Fragestellung (s.o.) in der anschließenden Experimentierphase näher untersuchen.

Experimentierform	Experimentname	Ausgestaltung
Offenes Freihandexperiment	Aquakugeln erleben	Aquakugeln werden unter einer selbstgewählten Fragestellung untersucht.



Angeleitetes Schüler- experiment	Ein Reagenzglas verschwinden lassen	Ein Reagenzglas wird mit Glycerin gefüllt und in ein mit Glycerin gefülltes Glas getaucht.
--	--	---

Näheres zu den Experimentierformen findet sich im Anhang.

2. Experimentierphase (2. & 3. Stunde, ca. 90 Minuten)

In der Experimentierphase sollen die Schüler*innen die naturwissenschaftliche Fragestellung (s.o.) handlungsorientiert näher erkunden.

Zunächst soll das Freihandexperiment von allen Schüler*innen durchgeführt werden (maximal 45 Minuten). In diesem erkunden sie die Aquakugeln aus dem Demonstrationsexperiment unter einer selbst gewählten Fragestellung. Dafür kann pro Schülergruppe 2-5 Aquakugeln ausgeteilt werden.

Im Anschluss sollen alle Schüler*innen das angeleitete Experiment durchführen (maximal 45 Minuten), was das gleiche Phänomen mit anderen Materialien zeigt.

In der Experimentierphase dürfen die Schüler*innen entscheiden, ob sie einzeln, in Partner- oder Gruppenarbeit arbeiten wollen. Sie müssen keine festen Paare oder Gruppen bilden.

Die Experimente können an Gruppentischen aufgebaut werden.

Die Versuchsanleitungen geben jeweils vor, was die Schüler*innen beim Experimentieren tun sollen.

Dabei sollen sie sich Notizen auf dem Arbeitsblatt „Deine Forschungsergebnisse“ machen. Das sollte von der Lehrkraft stichprobenartig überprüft werden.

Die Lehrkraft steht den Schüler*innen während dieser Phase beratend zur Seite.

3. Plenumsphase (4. Stunde, ca. 45 Minuten)

Ziel der Plenumsphase ist das Zusammenbringen der Ergebnisse aus der Experimentierphase.

Zunächst soll die Lehrkraft einen Rückbezug auf die Anfangshypothesen vornehmen, indem sie die Mind-Map zeigt, die in der ersten Phase erstellt wurde.

Die Schüler*innen sollen unter Bezugnahme dessen, was sie in der Experimentierphase gelernt haben, nun Stellung zu den Hypothesen beziehen.

Die Individualbeiträge aus den zwei Experimenten sollen zusammengefügt werden, indem die Fragestellung „Warum werden manche Gegenstände wie die Aquakugeln unsichtbar?“ (s.o.) in einer Plenumsdiskussion beantwortet wird.



Lehrkräftebegleitmaterial Vergleichs-Unterrichtseinheit

Als gemeinsames Produkt soll eine Infoseite (*Vorlage „Plenum Sammlung“*) erstellt werden. Diese kann für alle Schüler*innen zum Abschluss kopiert werden.



Nach der Einheit: Posttest (ca. 15 Minuten)



Anhang

Offenes Freihandexperiment

Das offene Freihandexperiment soll zum Entdecken und Ausprobieren anregen. Die Schüler*innen forschen selbstbestimmt mit bekannten Materialien, z.B. aus ihrem Alltag. Freihandexperimente sind insbesondere für exploratives Experimentieren geeignet, da sie in der Regel unkompliziert durchzuführen sind und dadurch die Hemmschwelle zum Ausprobieren niedrig ist (Sührig et al., 2020).

Angeleitetes Schülerexperiment

Das angeleitete Schülerexperiment ist darauf ausgerichtet, die Experimentierkompetenz der Lernenden zu fördern. Die Schüler*innen folgen einer strukturierten und bebilderten Schritt-für-Schritt-Anleitung und erhalten direktes Feedback durch den Erfolg bzw. Misserfolg des Experimentes. Sie lernen dabei den Umgang mit typischen Experimentiermaterialien. Die Anleitung soll den Schüler*innen Angst im Umgang mit den Materialien nehmen, da sie einen sachgemäßen Gebrauch vorgibt (Sührig et al., 2020).

Warum werden die Aquakugeln unsichtbar?

Aquakugeln haben durch den hohen Wasseranteil denselben Brechungsindex wie Wasser. Übergießt man sie mit Wasser, findet an ihnen keine Lichtbrechung und Reflexion mehr statt und sie erscheinen unsichtbar. Das liegt darin begründet, dass Wasser und Aquakugeln denselben Brechungsindex haben und dadurch keine optische Grenzfläche mehr vorliegt. Dies kann man auch über das Brechungsgesetz erklären (s.u.).

$$n_1 \cdot \sin(\alpha) = n_2 \cdot \sin(\beta)$$

$$n_{\text{Wasser}} \cdot \sin(\alpha) = n_{\text{Aquakugel}} \cdot \sin(\beta)$$

$$\text{Mit } n_{\text{Wasser}} = n_{\text{Aquakugel}} = 1,33$$

$$\Rightarrow 1,33 \cdot \sin(\alpha) = 1,33 \cdot \sin(\beta)$$

$$\sin(\alpha) = \sin(\beta)$$

$$\alpha = \beta$$

Weitere Literatur

Sührig, L., Hartig, K., Erb, R., Horz, H., Teichrow, A., Ullrich, M., & Winkelmann, J. (2020). Schülerexperimente im inklusiven Physikunterricht. PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung.

**Verlaufsplan**

Phase	Inhalt	Sozialform	Medien
Test vor der Unterrichtseinheit (ca. 15 min.)	Prätest	Einzelarbeit	Prätest
Instruktion	Demonstrationsexperiment, Hypothesensammlung	Plenum	Demonstrationsexperiment, Mind-Map (Vorlage „Einführung Mindmap“)
Experimentieren	Schüler*innen machen zuerst das Freihandexperiment, danach das angeleitete Experiment	Schüler*innen wählen Sozialform	Freihandexperiment, Angeleitetes Experiment
Sicherung	Beantwortung der Fragestellung „Warum werden manche Gegenstände wie die Aquakugeln unsichtbar?“	Plenum	Infoseite (Vorlage „Plenum Sammlung“)
Test nach der Unterrichtseinheit (ca. 15 min.)	Posttest	Einzelarbeit	Posttest

C.2 Begleitmaterial für die Schüler*innen

C.2.1 Experimentieranleitungen

Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit

**Aquakugeln erleben**

Du kannst in diesem Experiment die Lichtbrechung an Aquakugeln selbstständig untersuchen.

Dafür stehen dir einige Materialien zur Verfügung.

Materialien für den Versuch:

- Aquakugeln
- Petrischalen
- Wasser
- Musterunterlagen



Die Aquakugeln

Du musst nicht alle Materialien nutzen.

Du kannst deine Lehrkraft auch nach weiteren Materialien fragen.



Überlege dir eine **Frage** zu den Aquakugeln.

Überlege dir, wie du diese **Frage** mit den gegebenen Materialien beantworten kannst.

Notiere dir deine **Frage** auf dem Arbeitsblatt „Deine Forschungsergebnisse“.



Dokumentiere deinen Forschungsprozess auf dem Arbeitsblatt „Deine Forschungsergebnisse“.

Dein Forschungsprozess sollte aus folgenden Schritten bestehen:

1. Frage
2. Durchführung des Experiments
3. Beobachtungen
4. Auswertung



Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit



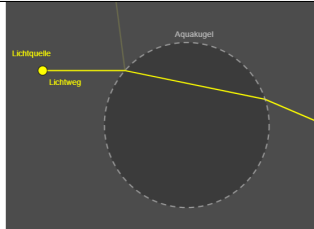
Eine Aquakugel im Modell

In diesem Modell siehst du eine Aquakugel (gestrichelter Kreis).



Du kannst einen **Lichtweg** einer Lichtquelle untersuchen, der durch die Aquakugel fällt.

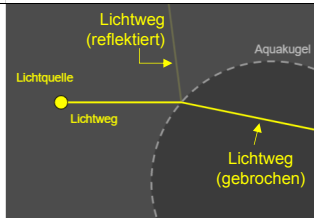
Du kannst mit dem Knopf „Helle Farben“ (unten rechts) das Design umstellen.



Modell einer Aquakugel



In dem Modell siehst du den **Lichtweg von gebrochenem Licht** und den **Lichtweg von reflektiertem Licht**.



Verändere den Brechungsindex des Stoffes, in welchem sich die Aquakugel befindet.

Bewege dafür den Schieberegler oben links im Modell mit dem Finger.



Beobachte, wie sich die **Lichtwege** verändern.

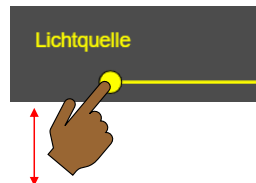
Gemeint sind die gelben/roten **Lichtwege**.



Verschiebe die Lichtquelle von oben nach unten.

Dafür ziehst du den kleinen gelben/roten Kreis mit dem Finger.

Achte darauf, dass der **Lichtweg** immer noch durch die Aquakugel geht.



Beobachte, wie sich die **Lichtwege** verändern.

Gemeint sind die gelben/roten **Lichtwege**.

Bitte wenden →

Wann geht das Licht ungebrochen, also der
Lichtweg gerade durch die Aquakugel?



Warum geht das Licht bei einem bestimmten
Brechungsindex des umliegenden Stoffes
ungebrochen durch die Aquakugel?



Der Brechungsindex oder auch optische Dichte ist eine Materialeigenschaft. Sie ist ein Maß dafür, wie schnell sich Licht in einem Material ausbreitet.

Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit	
	 Das Material eines Stabes bestimmen
	Du kannst in diesem Experiment in einem interaktiven Experimentiervideo das Material eines durchsichtigen Stabes mithilfe verschiedener durchsichtiger Flüssigkeiten bestimmen. Du kannst das Video jederzeit unten links pausieren und starten.
	Schaue dir das Video an und klicke auf die Informationsbuttons.
	In welchen Flüssigkeiten ist der Stab sichtbar? In welchen Flüssigkeiten ist der Stab unsichtbar?
	Welchen Brechungsindex hat die Flüssigkeit, in der der Stab unsichtbar wird?
	Welchen Brechungsindex hat der Stab?
	Aus welchem Material ist der Stab?
Bitte wenden 	

	Eis – 1,31 Magnesiumfluorid – 1,38 Quarzglas – 1,46 Borosilikatglas – 1,47 Plexiglas 1,49 Polycarbonat – 1,59 Diamant – 2,42
--	--

Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit	
	Durchsichtigen Schleim herstellen
	In diesem Experiment stellst du sogenannten Clear Slime (durchsichtigen Schleim) her. Dafür brauchst du: • Bastelkleber (ungefährlich; nicht trinken) • Natron (ungefährlich; nicht essen) • Kontaktlinsenflüssigkeit (ungefährlich; nicht trinken) • Becherglas • Löffel oder Stab zum Umrühren • Teelöffel • Kleine Dose  Der durchsichtige Schleim
	Gib 50 ml (Milliliter) Bastelkleber in das Becherglas. 
	Gib zu dem Bastelkleber in das Becherglas 1 Teelöffel Natron. Rühre gründlich um. 
	Gib so viel Kontaktlinsenlösung unter Rühren hinzu, bis sich die Mischung zu einem zähflüssigen Schleim entwickelt, also deutlich weniger klebrig wird. Der Schleim ist fertig, wenn er sich von den Wänden des Becherglases ablöst. 
	Welche (optischen) Eigenschaften hat der Schleim?

Bitte wenden →

 Fülle den Schleim in eine kleine Dose.	
 Der Schleim ist nach der Zubereitung milchig weiß. Das liegt an den Luftbläschen, die durch das Rühren in den Schleim kommen. Nach einigen Tagen wird er durchsichtig.	
 Warum erscheint der Schleim durch die eingeschlossenen Luftbläschen milchig?	
 Warum wird der Schleim nach einigen Tagen durchsichtig?	

Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit



Ein Reagenzglas verschwinden lassen



Du kannst in diesem Experiment ein **Reagenzglas** „verschwinden“ lassen.

Dafür nutzt du Glycerin.

Glycerin ist ein durchsichtiger Stoff.

Materialien für den Versuch:

- 1 Wasserglas
- 1 Reagenzglas
- Glycerin (ungefährlich; nicht trinken)
- Wasser



Das Reagenzglas



Fülle das **Wasserglas** ca. 3 bis 4 cm hoch mit Glycerin.

Stelle das **Reagenzglas** in das Glycerin.

Halte dabei das **Reagenzglas** senkrecht.



Wie gut kannst du das **Reagenzglas** im Glycerin sehen?



Fülle das **Reagenzglas** vorsichtig mit Wasser.

Halte dabei das **Reagenzglas** senkrecht.



Wie gut kannst du das **Reagenzglas** im Glycerin sehen?

Bitte wenden →

	Schütte das Wasser aus dem Reagenzglas. Stelle das Reagenzglas wieder in das Glycerin im Wasserglas. Befülle das Reagenzglas mit Glycerin.	
	Wie gut kannst du das Reagenzglas im Glycerin sehen?	
	Bei welcher Füllung des Reagenzglases (Luft, Wasser, Glycerin) war das Reagenzglas am unsichtbarsten?	
	Luft hat einen Brechungsindex von 1,00. Wasser hat einen Brechungsindex von 1,33. Glycerin hat einen Brechungsindex von 1,46. Das Glas, aus dem das Reagenzglas ist, hat einen Brechungsindex von 1,47.	Der Brechungsindex oder auch optische Dichte ist eine Materialeigenschaft. Sie ist ein Maß dafür, wie schnell sich Licht in einem Material ausbreitet. An der Grenzfläche zweier Stoffe mit unterschiedlichen Brechungsindizes wird Licht gebrochen und reflektiert.
	Warum „verschwindet“ das Reagenzglas im Glycerin bei einer bestimmten Füllung (Luft, Wasser, Glycerin)? Schreibe deine Antwort bei „Was hast du beim Experiment herausgefunden?“ auf dem Arbeitsblatt „Deine Forschungsergebnisse“ hin.	

C.2.2 Arbeitsblätter

Arbeitsblatt der Interventionsgruppe

Name:		Deine Forschungsergebnisse - Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit -		Datum:	
Welches Experiment hast du gemacht? Kreuze das dazugehörige Symbol an.					
 ☐		 ☐		 ☐	
☐		☐		☐	
Aquakugeln erleben		Eine Aquakugel im Modell		Das Material eines Stabes bestimmen	
				Durchsichtigen Schleim herstellen	
				☐	
				Ein Reagenzglas verschwinden lassen	
Was hast du beim Experiment gemacht? Schreibe oder zeichne deine Antwort. Hinweise siehe Rückseite					
Was konntest du beim Experiment alles beobachten? Schreibe oder zeichne deine Antwort. Hinweise siehe Rückseite					
Was hast du beim Experiment herausgefunden? Schreibe oder zeichne deine Antwort. Hinweise siehe Rückseite					
Wie hängt das Experiment mit den Aquakugeln zusammen, die du zu Beginn des Unterrichts gesehen hast? Schreibe oder zeichne deine Antwort. Hinweise siehe Rückseite					

Hinweise zu den Aufgaben

Was hast du beim Experiment gemacht?

- Es geht darum, welche Schritte du bei dem Experiment durchgeführt hast.
- Schreibe oder zeichne deine Experimentierschritte.
- Es geht nur um deine Handlungen.

Was konntest du beim Experiment alles beobachten?

- Es geht darum, was du bei dem Experiment sehen konntest.
- Schreibe oder zeichne deine Beobachtungen.
- Erkläre deine Beobachtungen **nicht**.

Was hast du beim Experiment herausgefunden?

- Erkläre deine Beobachtungen beim Experiment.
- Welche Erkenntnisse hast du aus deinen Beobachtungen gewonnen?
- Schreibe oder zeichne deine Erkenntnisse aus dem Experiment.

Wie hängt das Experiment mit den Aquakugeln zusammen, die du zu Beginn des Unterrichts gesehen hast?

- Bringe das Experiment mit dem Anfangsversuch in Zusammenhang.
- Wie hat dir das Experiment geholfen zu verstehen, warum die Aquakugeln unsichtbar geworden sind?

Arbeitsblatt der Vergleichsgruppe

Name:	Deine Forschungsergebnisse - Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit -	Datum:
	 Aquakugeln erleben:	 Ein Reagenzglas verschwinden lassen:
Was hast du beim Experiment gemacht? Schreibe oder zeichne deine Antwort. Hinweise siehe Rückseite		
Was konntest du beim Experiment alles beobachten? Schreibe oder zeichne deine Antwort. Hinweise siehe Rückseite		
Was hast du beim Experiment herausgefunden? Schreibe oder zeichne deine Antwort. Hinweise siehe Rückseite		
Wie hängt das Experiment mit den Aquakugeln zusammen, die du zu Beginn des Unterrichts gesehen hast? Schreibe oder zeichne deine Antwort. Hinweise siehe Rückseite		

Hinweise zu den Aufgaben

Was hast du beim Experiment gemacht?

- Es geht darum, welche Schritte du bei dem Experiment durchgeführt hast.
- Schreibe oder zeichne deine Experimentierschritte.
- Es geht nur um deine Handlungen.

Was konntest du beim Experiment alles beobachten?

- Es geht darum, was du bei dem Experiment sehen konntest.
- Schreibe oder zeichne deine Beobachtungen.
- Erkläre deine Beobachtungen **nicht**.

Was hast du beim Experiment herausgefunden?

- Erkläre deine Beobachtungen beim Experiment.
- Welche Erkenntnisse hast du aus deinen Beobachtungen gewonnen?
- Schreibe oder zeichne deine Erkenntnisse aus dem Experiment.

Wie hängt das Experiment mit den Aquakugeln zusammen, die du zu Beginn des Unterrichts gesehen hast?

- Bringe das Experiment mit dem Anfangsversuch in Zusammenhang.
- Wie hat dir das Experiment geholfen zu verstehen, warum die Aquakugeln unsichtbar geworden sind?

Bisher erschienene Bände der Reihe
Studien zum Physik- und Chemielernen

ISSN 1614-8967

Vollständige Übersicht auf unserer Website



<https://www.logos-verlag.de/spcl>

Aktuelle Bände

- 310 Wolfgang Becker (2021): Auswirkungen unterschiedlicher experimenteller Repräsentationen auf den Kenntnisstand bei Grundschulkindern
ISBN 978-3-8325-5255-8 50.00 EUR
- 311 Marvin Rost (2021): Modelle als Mittel der Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. Entwicklung und quantitative Dimensionalitätsanalyse eines Testinstruments aus epistemologischer Perspektive
ISBN 978-3-8325-5256-5 44.00 EUR (open access)
- 312 Christina Kobl (2021): Förderung und Erfassung der Reflexionskompetenz im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-5259-6 41.00 EUR (open access)
- 313 Ann-Kathrin Beretz (2021): Diagnostische Prozesse von Studierenden des Lehramts. eine Videostudie in den Fächern Physik und Mathematik
ISBN 978-3-8325-5288-6 45.00 EUR (open access)
- 314 Judith Breuer (2021): Implementierung fachdidaktischer Innovationen durch das Angebot materialgestützter Unterrichtskonzeptionen. Fallanalysen zum Nutzungsverhalten von Lehrkräften am Beispiel des Münchener Lehrgangs zur Quantenmechanik
ISBN 978-3-8325-5293-0 50.50 EUR (open access)
- 315 Michaela Oettle (2021): Modellierung des Fachwissens von Lehrkräften in der Teilchenphysik. Eine Delphi-Studie
ISBN 978-3-8325-5305-0 57.50 EUR (open access)
- 316 Volker Brüggemann (2021): Entwicklung und Pilotierung eines adaptiven Multistage-Tests zur Kompetenzerfassung im Bereich naturwissenschaftlichen Denkens
ISBN 978-3-8325-5331-9 40.00 EUR (open access)
- 317 Stefan Müller (2021): Die Vorläufigkeit und soziokulturelle Eingebundenheit naturwissenschaftlicher Erkenntnisse. Kritische Reflexion, empirische Befunde und fachdidaktische Konsequenzen für die Chemielehrer*innenbildung
ISBN 978-3-8325-5343-2 63.00 EUR

- 318 Laurence Müller (2021): Alltagsentscheidungen für den Chemieunterricht erkennen und Entscheidungsprozesse explorativ begleiten
ISBN 978-3-8325-5379-1 59.00 EUR
- 319 Lars Ehlert (2021): Entwicklung und Evaluation einer Lehrkräftefortbildung zur Planung von selbstgesteuerten Experimenten
ISBN 978-3-8325-5393-7 41.50 EUR (open access)
- 320 Florian Seiler (2021): Entwicklung und Evaluation eines Seminarkonzepts zur Förderung der experimentellen Planungskompetenz von Lehramtsstudierenden im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-5397-5 47.50 EUR (open access)
- 321 Nadine Boele (2021): Entwicklung eines Messinstruments zur Erfassung der professionellen Unterrichtswahrnehmung von (angehenden) Chemielehrkräften hinsichtlich der Lernunterstützung
ISBN 978-3-8325-5402-6 46.50 EUR
- 322 Franziska Zimmermann (2022): Entwicklung und Evaluation digitalisierungsbezogener Kompetenzen von angehenden Chemielehrkräften
ISBN 978-3-8325-5410-1 49.50 EUR
- 323 Lars-Frederik Weiß (2021): Der Flipped Classroom in der Physik-Lehre. Empirische Untersuchungen in Schule und Hochschule
ISBN 978-3-8325-5418-7 51.00 EUR
- 324 Tilmann Steinmetz (2021): Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik. Theorie und Evaluation eines Lehrkonzepts
ISBN 978-3-8325-5421-7 51.50 EUR
- 325 Kübra Nur Celik (2022): Entwicklung von chemischem Fachwissen in der Sekundarstufe I. Validierung einer Learning Progression für die Basiskonzepte „Struktur der Materie“, „Chemische Reaktion“ und „Energie“ im Kompetenzbereich „Umgang mit Fachwissen“
ISBN 978-3-8325-5431-6 55.00 EUR
- 326 Matthias Ungermann (2022): Förderung des Verständnisses von Nature of Science und der experimentellen Kompetenz im Schüler*innen-Labor Physik in Abgrenzung zum Regelunterricht
ISBN 978-3-8325-5442-2 55.50 EUR
- 327 Christoph Hoyer (2022): Multimedial unterstütztes Experimentieren im webbasierten Labor zur Messung, Visualisierung und Analyse des Feldes eines Permanentmagneten
ISBN 978-3-8325-5453-8 45.00 EUR
- 328 Tobias Schüttler (2022): Schülerlabore als interesselördernde authentische Lernorte für den naturwissenschaftlichen Unterricht nutzen
ISBN 978-3-8325-5454-5 50.50 EUR
- 329 Christopher Kurth (2022): Die Kompetenz von Studierenden, Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren zu diagnostizieren
ISBN 978-3-8325-5457-6 58.50 EUR

- 330 Dagmar Michna (2022): Inklusiver Anfangsunterricht Chemie. Entwicklung und Evaluation einer Unterrichtseinheit zur Einführung der chemischen Reaktion
ISBN 978-3-8325-5463-7 49.50 EUR
- 331 Marco Seiter (2022): Die Bedeutung der Elementarisierung für den Erfolg von Mechanikunterricht in der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-5471-2 66.00 EUR
- 332 Jörn Hägele (2022): Kompetenzaufbau zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten. Videobasierte Analysen zu Aktivitäten und Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern der gymnasialen Oberstufe bei der Bearbeitung von fachmethodischer Instruktion
ISBN 978-3-8325-5476-7 56.50 EUR (open access)
- 333 Erik Heine (2022): Wissenschaftliche Kontroversen im Physikunterricht. Explorationsstudie zum Umgang von Physiklehrkräften und Physiklehramtsstudierenden mit einer wissenschaftlichen Kontroverse am Beispiel der Masse in der Speziellen Relativitätstheorie
ISBN 978-3-8325-5478-1 48.50 EUR (open access)
- 334 Simon Goertz (2022): Module und Lernzirkel der Plattform FLexKom zur Förderung experimenteller Kompetenzen in der Schulpraxis. Verlauf und Ergebnisse einer Design-Based Research Studie
ISBN 978-3-8325-5494-1 66.50 EUR
- 335 Christina Toschka (2022): Lernen mit Modellexperimenten. Empirische Untersuchung der Wahrnehmung und des Denkens in Analogien beim Umgang mit Modellexperimenten
ISBN 978-3-8325-5495-8 50.00 EUR (open access)
- 336 Alina Behrendt (2022): Chemiebezogene Kompetenzen in der Übergangsphase zwischen dem Sachunterricht der Primarstufe und dem Chemieunterricht der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-5498-9 40.50 EUR (open access)
- 337 Manuel Daiber (2022): Entwicklung eines Lehrkonzepts für eine elementare Quantenmechanik. Formuliert mit In-Out Symbolen
ISBN 978-3-8325-5507-8 48.50 EUR
- 338 Felix Pawlak (2022): Das Gemeinsame Experimentieren (an-)leiten. Eine qualitative Studie zum chemiespezifischen Classroom-Management
ISBN 978-3-8325-5508-5 46.50 EUR
- 339 Liza Dopatka (2022): Konzeption und Evaluation eines kontextstrukturierten Unterrichtskonzeptes für den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht
ISBN 978-3-8325-5514-6 69.50 EUR
- 340 Arne Bowersdorff (2022): Untersuchung der Effektivität zweier Fortbildungsformate zum Experimentieren mit dem Fokus auf das Unterrichtshandeln
ISBN 978-3-8325-5522-1 39.00 EUR (open access)

- 341 Thomas Christoph Münster (2022): Wie diagnostizieren Studierende des Lehramtes physikbezogene Lernprozesse von Schüler*innen?. Eine Videostudie zur Mechanik
ISBN 978-3-8325-5534-4 44.50 EUR (open access)
- 342 Ines Komor (2022): Förderung des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses in der Physikalischen Chemie
ISBN 978-3-8325-5546-7 46.50 EUR
- 343 Verena Petermann (2022): Überzeugungen von Lehrkräften zum Lehren und Lernen von Fachinhalten und Fachmethoden und deren Beziehung zu unterrichtsnahem Handeln
ISBN 978-3-8325-5545-0 47.00 EUR (open access)
- 344 Jana Heinze (2022): Einfluss der sprachlichen Konzeption auf die Einschätzung der Qualität instruktionaler Unterrichtserklärungen im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-5553-5 42.00 EUR (open access)
- 345 Jannis Weber (2022): Mathematische Modellbildung und Videoanalyse zum Lernen der Newtonschen Dynamik im Vergleich
ISBN 978-3-8325-5566-5 68.00 EUR (open access)
- 346 Fabian Sterzing (2022): Zur Lernwirksamkeit von Erklärvideos in der Physik. Eine Untersuchung in Abhängigkeit von ihrer fachdidaktischen Qualität und ihrem Einbettungsformat
ISBN 978-3-8325-5576-4 52.00 EUR (open access)
- 347 Lars Greitemann (2022): Wirkung des Tablet-Einsatzes im Chemieunterricht der Sekundarstufe I unter besonderer Berücksichtigung von Wissensvermittlung und Wissenssicherung
ISBN 978-3-8325-5580-1 50.00 EUR
- 348 Fabian Poensgen (2022): Diagnose experimenteller Kompetenzen in der laborpraktischen Chemielehrer*innenbildung
ISBN 978-3-8325-5587-0 48.00 EUR
- 349 William Lindlahr (2023): Virtual-Reality-Experimente. Entwicklung und Evaluation eines Konzepts für den forschend-entwickelnden Physikunterricht mit digitalen Medien
ISBN 978-3-8325-5595-5 49.00 EUR
- 350 Bert Schlüter (2023): Teilnahmemotivation und situationales Interesse von Kindern und Eltern im experimentellen Lernsetting KEMIE
ISBN 978-3-8325-5598-6 43.00 EUR
- 351 Katharina Nave (2023): Charakterisierung situativer mentaler Modellkomponenten in der Chemie und die Bildung von Hypothesen. Eine qualitative Studie zur Operationalisierung mentaler Modellkomponenten für den Fachbereich Chemie
ISBN 978-3-8325-5599-3 43.00 EUR
- 352 Anna B. Bauer (2023): Experimentelle Kompetenz Physikstudierender. Entwicklung und erste Erprobung eines performanzorientierten Kompetenzstrukturmodells unter Nutzung qualitativer Methoden
ISBN 978-3-8325-5625-9 47.00 EUR (open access)

- 353 Jan Schröder (2023): Entwicklung eines Performanztests zur Messung der Fähigkeit zur Unterrichtsplanung bei Lehramtsstudierenden im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-5655-6 46.50 EUR
- 354 Susanne Gerlach (2023): Aspekte einer Fachdidaktik Körperpflege. Ein Beitrag zur Standardentwicklung
ISBN 978-3-8325-5659-4 45.00 EUR
- 355 Livia Murer (2023): Diagnose experimenteller Kompetenzen beim praktisch-naturwissenschaftlichen Arbeiten. Vergleich verschiedener Methoden und kognitive Validierung eines Testverfahrens
ISBN 978-3-8325-5657-0 41.50 EUR (open access)
- 356 Andrea Maria Schmid (2023): Authentische Kontexte für MINT-Lernumgebungen. Eine zweiteilige Interventionsstudie in den Fachdidaktiken Physik und Technik
ISBN 978-3-8325-5605-1 57.00 EUR (open access)
- 357 Julia Ortmann (2023): Bedeutung und Förderung von Kompetenzen zum naturwissenschaftlichen Denken und Arbeiten in universitären Praktika
ISBN 978-3-8325-5670-9 37.00 EUR (open access)
- 358 Axel-Thilo Prokop (2023): Entwicklung eines Lehr-Lern-Labors zum Thema Radioaktivität. Eine didaktische Rekonstruktion
ISBN 978-3-8325-5671-6 49.50 EUR
- 359 Timo Hackemann (2023): Textverständlichkeit sprachlich variiert physikbezogener Sachtexte
ISBN 978-3-8325-5675-4 41.50 EUR (open access)
- 360 Dennis Dietz (2023): Vernetztes Lernen im fächerdifferenzierten und integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht aufgezeigt am Basiskonzept Energie. Eine Studie zur Analyse der Wirksamkeit der Konzeption und Implementation eines schulinternen Curriculums für das Unterrichtsfach „Integrierte Naturwissenschaften 7/8“
ISBN 978-3-8325-5676-1 49.50 EUR
- 361 Ann-Katrin Krebs (2023): Vielfalt im Physikunterricht. Zur Wirkung von Lehrkräftefortbildungen unter Diversitätsaspekten
ISBN 978-3-8325-5672-3 65.50 EUR (open access)
- 362 Simon Kaulhausen (2023): Strukturelle Ursachen für Klausurmisserfolg in Allgemeiner Chemie an der Universität
ISBN 978-3-8325-5699-0 37.50 EUR (open access)
- 363 Julia Eckoldt (2023): Den (Sach-)Unterricht öffnen. Selbstkompetenzen und motivationale Orientierungen von Lehrkräften bei der Implementation einer Innovation untersucht am Beispiel des Freien Explorierens und Experimentierens
ISBN 978-3-8325-5663-1 48.50 EUR (open access)

- 364 Albert Teichrew (2023): Physikalische Modellbildung mit dynamischen Modellen
ISBN 978-3-8325-5710-2 58.50 EUR (open access)
- 365 Sascha Neff (2023): Transfer digitaler Innovationen in die Schulpraxis. Eine explorative Untersuchung zur Förderung der Implementation
ISBN 978-3-8325-5687-7 59.00 EUR (open access)
- 366 Rahel Schmid (2023): Verständnis von Nature of Science-Aspekten und Umgang mit Fehlern von Schüler*innen der Sekundarstufe I. Am Beispiel von digital-basierten Lernprozessen im informellen Lernsetting Smartfeld
ISBN 978-3-8325-5722-5 53.50 EUR (open access)
- 367 Dennis Kirstein (2023): Individuelle Bedingungs- und Risikofaktoren für erfolgreiche Lernprozesse mit kooperativen Experimentieraufgaben im Chemieunterricht. Eine Untersuchung zum Zusammenhang von Lernvoraussetzungen, Lerntätigkeiten, Schwierigkeiten und Lernerfolg beim Experimentieren in Kleingruppen der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-5729-4 50.50 EUR (open access)
- 368 Frauke Düwel (2024): Argumentationslinien in Lehr-Lernkontexten. Potenziale englischer Fachtexte zur Chromatografie und deren hochschuldidaktische Einbindung
ISBN 978-3-8325-5731-7 63.00 EUR (open access)
- 369 Fabien Güth (2023): Interessenbasierte Differenzierung mithilfe systematisch variierter Kontextaufgaben im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-5737-9 48.00 EUR (open access)
- 370 Oliver Grewe (2023): Förderung der professionellen Unterrichtswahrnehmung und Selbstwirksamkeitsüberzeugungen hinsichtlich sprachsensibler Maßnahmen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. Konzeption und Evaluation einer video- und praxisbasierten Lehrveranstaltung im Masterstudium
ISBN 978-3-8325-5738-6 44.50 EUR (open access)
- 371 Anna Nowak (2023): Untersuchung der Qualität von Selbstreflexionstexten zum Physikunterricht. Entwicklung des Reflexionsmodells REIZ
ISBN 978-3-8325-5739-3 59.00 EUR (open access)
- 372 Dominique Angela Holland (2023): Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) kooperativ gestalten. Vergleich monodisziplinärer und interdisziplinärer Kooperation von Lehramtsstudierenden bei der Planung, Durchführung und Reflexion von Online-BNE-Unterricht
ISBN 978-3-8325-5760-7 47.00 EUR (open access)
- 373 Renan Marcello Vairo Nunes (2024): MINT-Personal an Schulen. Eine Untersuchung der Arbeitssituation und professionellen Kompetenzen von MINT-Lehrkräften verschiedener Ausbildungswege
ISBN 978-3-8325-5778-2 51.00 EUR (open access)
- 374 Mats Kieserling (2024): Digitalisierung im Chemieunterricht. Entwicklung und Evaluation einer experimentellen digitalen Lernumgebung mit universeller Zugänglichkeit
ISBN 978-3-8325-5786-7 45.50 EUR

- 375 Cem Aydin Salim (2024): Die Untersuchung adaptiver Lernsettings im Themenbereich „Schwimmen und Sinken“ im naturwissenschaftlichen Unterricht
ISBN 978-3-8325-5787-4 49.00 EUR (open access)
- 376 Novid Ghassemi (2024): Evaluation eines Lehramtsmasterstudiengangs mit dem Profil Quereinstieg im Fach Physik. Erkenntnisse zu Eingangsbedingungen, professionellen Kompetenzen und Aspekten individueller Angebotsnutzung
ISBN 978-3-8325-5789-8 41.50 EUR (open access)
- 377 Martina Flurina Cavelti (2024): Entwicklung und Validierung eines Messinstruments zur Erfassung der Schülerkompetenzen im Bereich des wissenschaftlichen Skizzierens im Fach Chemie in der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-5829-1 45.00 EUR (open access)
- 378 Tom Bleckmann (2024): Formatives Assessment auf Basis von maschinellem Lernen. Eine Studie über automatisiertes Feedback zu Concept Maps aus dem Bereich Mechanik
ISBN 978-3-8325-5842-0 46.50 EUR (open access)
- 379 Jana Marlies Rehberg (2024): Das physikspezifische Mindset zum Studienbeginn. Fragebogenentwicklung und Aufbau einer Online-Intervention
ISBN 978-3-8325-5850-5 59.50 EUR (open access)
- 380 Florian Trauten (2024): Entwicklung und Evaluation von automatisierten Feedbackschleifen in Online-Aufgaben im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-5859-8 46.00 EUR (open access)
- 381 Johanna Dejanovikj (2024): Reflexion als Lerngegenstand im Unterricht zur Förderung von Bewertungskompetenz
ISBN 978-3-8325-5860-4 41.00 EUR (open access)
- 382 Katharina Flieser (2024): Verständlichkeit physikalischer Sachtexte. Untersuchungen zum Wirkungsgefüge zwischen sprachlicher Textgestaltung und der Behaltensleistung sowie der Textwahrnehmung im Schulfach Physik
ISBN 978-3-8325-5858-1 44.00 EUR (open access)
- 383 Stephanie Neppel (2024): Perspektivenübernahme im Physikunterricht. Explorative Interviewstudie zu einer Seminarkonzeption mit dem Schwerpunkt Perspektivenübernahme bei der Planung von Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-5865-9 48.00 EUR (open access)
- 384 Katja Plicht (2024): Ein Physikübungskonzept zur Förderung der Problemlösekompetenz. Entwicklung und empirische Evaluation eines Strategietrainings auf der Basis von Expertisemerkmalen
ISBN 978-3-8325-5875-8 45.00 EUR (open access)
- 385 Svenja Boegel (2024): Feedback beim Experimentieren: Zur Rolle von Cognitive Load und Motivation
ISBN 978-3-8325-5911-3 45.50 EUR (open access)

- 386 Laura Pannullo (2025): Wahlmöglichkeiten beim Experimentieren: Entwicklung und Erprobung eines Konzeptes für Experimente in inklusiven Lerngruppen im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-5916-8 46.50 EUR (open access)
- 387 Matthias Schweinberger (2025): „Stumme Videos“. Aufmerksamkeitslenkende Moderation von Demonstrationsexperimenten
ISBN 978-3-8325-5930-4 50.50 EUR
- 388 Rike Große-Heilmann (2025): Entwicklung fachdidaktischen Wissens zum Einsatz digitaler Medien im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-5943-4 51.00 EUR (open access)

Vollständige Übersicht unter: <https://www.logos-verlag.de/spcl>

Alle erschienenen Bücher können unter der angegebenen ISBN direkt online (<http://www.logos-verlag.de>) oder telefonisch (030 - 42 85 10 90) beim Logos Verlag Berlin bestellt werden.

Studien zum Physik- und Chemielernen

Herausgegeben von Martin Hopf und Mathias Ropohl

Die Reihe umfasst inzwischen eine große Zahl von wissenschaftlichen Arbeiten aus vielen Arbeitsgruppen der Physik- und Chemiedidaktik und zeichnet damit ein gültiges Bild der empirischen physik- und chemiedidaktischen Forschung im deutschsprachigen Raum.

Die Herausgeber laden daher Interessenten zu neuen Beiträgen ein und bitten sie, sich im Bedarfsfall an den Logos-Verlag oder an ein Mitglied des Herausgeberteams zu wenden.

Kontaktadressen:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf
Universität Wien,
Österreichisches Kompetenzzentrum
für Didaktik der Physik,
Porzellangasse 4, Stiege 2,
1090 Wien, Österreich,
Tel. +43-1-4277-60330,
e-mail: martin.hopf@univie.ac.at

Prof. Dr. Mathias Ropohl
Didaktik der Chemie,
Fakultät für Chemie,
Universität Duisburg-Essen,
Schützenbahn 70, 45127 Essen,
Tel. 0201-183 2704,
e-mail: mathias.ropohl@uni-due.de

Lerngruppen im naturwissenschaftlichen Unterricht sind divers – ein Umstand, der durch die gesellschaftliche Auseinandersetzung mit der Thematik der Inklusion verstärkt wahrgenommen wird. Experimentierphasen sind ein zentraler Bestandteil des Physikunterrichts, welche entsprechend den vielfältigen Bedarfen der Lernenden gestaltet werden müssen. Hierfür müssen individuelle Zugänge geschaffen werden, die z. B. durch das Angebot von Wahlmöglichkeiten realisiert werden können.

Diese Arbeit untersucht die Auswirkungen von Wahlmöglichkeiten beim Experimentieren im Physikunterricht im Hinblick auf den Erwerb von Fachwissen und die Verbesserung affektiv-motivationaler Merkmale. Dazu wurde ein Unterrichtskonzept entwickelt, das Schüler:innen zwischen fünf Experimentierformen (digitale und analoge, offene und geschlossene sowie kreative Ansätze) wählen lässt. Die Effekte wurden anhand einer exemplarischen Unterrichtseinheit zum Thema Optik in einer quasi-experimentellen Feldstudie mit $N = 582$ Schüler:innen und $N = 7$ Lehrkräften analysiert.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich Experimentierphasen ohne Wahlmöglichkeiten positiv auf die Entwicklung des Fachwissens und des physikbezogenen Selbstkonzepts auswirken, während Wahlmöglichkeiten das Interesse steigern. Auch die befragten Lehrkräfte betonen das Potenzial von Wahlmöglichkeiten für die Förderung affektiver Merkmale. Aus den Ergebnissen werden praxisnahe Empfehlungen zum Einsatz von Wahlmöglichkeiten in Experimentierphasen abgeleitet.

Logos Verlag Berlin

ISBN 978-3-8325-5916-8